

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**
Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Юргинский технологический
Направление подготовки Агроинженерия

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Тема работы
Проектирование активного шнекоротора для работа-толкателя кормов на животноводческой ферме

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
10Б60	Воробьев Андрей Алексеевич		

УДК: 621.879.4-25:631.22

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
к.т.н., доцент	Проскоков Андрей Владимирович	К.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
к.т.н., доцент	Проскоков Андрей Владимирович	К.т.н.		

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ЮТИ	Лизунков Владислав Геннадьевич	К.пед.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ЮТИ	Солодский Сергей Анатольевич	К.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ООП Агроинженерия	Проскоков Андрей Владимирович	К.т.н., доцент		

Юрга – 2020 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения
P1	Демонстрировать базовые естественнонаучные, математические знания, знания в области экономических и гуманитарных наук, а также понимание научных принципов, лежащих в основе профессиональной деятельности
P2	Применять базовые и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук в комплексной инженерной деятельности на основе целостной системы научных знаний об окружающем мире.
P3	Применять базовые и специальные знания в области современных информационных технологий для решения задач хранения и переработки информации, коммуникативных задач и задач автоматизации инженерной деятельности
P4	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей, в том числе над междисциплинарными проектами, уметь проявлять личную ответственность, приверженность профессиональной этике и нормам ведения профессиональной деятельности.
P5	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, знания в вопросах охраны здоровья, безопасности жизнедеятельности и труда на предприятиях агропромышленного комплекса и смежных отраслей.
P6	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке; анализировать существующую и разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности на предприятиях агропромышленного комплекса и в отраслевых научных организациях.
P7	Использовать законы естественнонаучных дисциплин и математический аппарат в теоретических и экспериментальных исследованиях объектов, процессов и явлений в техническом сервисе, при производстве, восстановлении и ремонте иных деталей и узлов, в том числе с целью их моделирования с использованием математических пакетов прикладных программ и средств автоматизации инженерной деятельности
P8	Обеспечивать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении, ремонте и восстановлении деталей и узлов сельскохозяйственной техники, для агропромышленного и топливно-энергетического комплекса, а также опасных технических объектов и устройств, осваивать новые технологические процессы в техническом сервисе, применять методы контроля качества новых образцов изделий, их узлов и деталей.
P9	Осваивать внедряемые технологии и оборудование, проверять техническое состояние и остаточный ресурс действующего технологического оборудования, обеспечивать ремонтно-восстановительные работы на предприятиях агропромышленного комплекса.
P10	Проводить эксперименты и испытания по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий, в том числе с использованием способов неразрушающего контроля в техническом сервисе.
P11	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений, выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда, применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении, ремонте и восстановлении деталей и узлов сельскохозяйственной техники и при проведении технического сервиса в агропромышленном комплексе.
P12	Проектировать изделия сельскохозяйственного машиностроения, опасные технические устройства и объекты и технологические процессы технического сервиса, а также средства технологического оснащения, оформлять проектную и технологическую документацию в соответствии с требованиями нормативных документов, в том числе с использованием средств автоматизированного проектирования и с учетом требований ресурсоэффективности, производительности и безопасности.
P13	Составлять техническую документацию, выполнять работы по стандартизации, технической подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов, организовывать метрологическое обеспечение технологических процессов, подготавливать документацию для создания системы менеджмента качества на предприятии.
P14	Непрерывно самостоятельно повышать собственную квалификацию, участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности, основанные на систематическом изучении научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта, проведении патентных исследований.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт Юргинский технологический
Направление подготовки Агроинженерия

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Проскоков А.В.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
10Б60	Воробьев Андрей Алексеевич

Тема работы:

Проектирование активного шнекоротора для робота-толкателя кормов на животноводческой ферме	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 9/с от 31.01.2020г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	<ol style="list-style-type: none">1. Робот-толкатель кормов.2. Режим работы: циклический3. Работает на закрытых и открытых участках.4. Работа в автоматическом режиме по программе.5. Управление с помощью Bluetooth, а также через приложение для смартфона.6. Автоматический останавливается перед препятствием
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной</i>	<ol style="list-style-type: none">1. Аналитический обзор по теме ВКР.2. Методика и алгоритмы расчета создания траектории движения.3. Схемотехника и описание электронных компонент.4. Конструкторская часть. Описание конструкции автоматической роботизированной платформы и шнекоротора.5. Концепция стартап-проекта6. Социальная ответственность.

работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).		
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)		1. Конструкция самоходной автоматизированной платформы робота-толкателя кормов. Чертеж общего вида, чертеж сборочных единиц. (4 листа А1 и один А3) 2. Схема движения на ферме (Один лист А1)
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)		
Раздел	Консультант	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лизунков В.Г.	
Социальная ответственность	Солодский С.А.	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		
Реферат		

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Проскоков Андрей Владимирович	К.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
10Б60	Воробьев Андрей Алексеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
10Б60	Воробьев Андрей Алексеевич

Институт	ЮТИ ТПУ		
Уровень образования	бакалавр	Направление	35.03.06 «Агроинженерия»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1) Средняя цена готового изделия не более 250000 руб; 2) Затраты на покупные комплектующие не более 103056 руб; 3) Количество разработчиков – 4 человека.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Краткое описание исходных технико-экономических характеристик объекта ИР / НИ
2. Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР / НИ; расчет вложений в основные и оборотные фонды
3. Планирование показателей по труду и заработной плате (расчет штатного расписания, производительности труда, фонда заработной платы)
4. Проектирование себестоимости продукции; обоснование цены на продукцию
5. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР / НИ

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Затраты на покупные комплектующие, ЗП исполнителей, итоговые затраты

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	23.04.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЦТ	Лизунков В. Г.	К.пед.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
10Б60	Воробьев Андрей Алексеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
10Б60	Воробьев Андрей Алексеевич

Институт	ЮТИ ТПУ	Направление	
Уровень образования	Бакалавр		35.03.06 «Агроинженерия»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:

- вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)
- опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)
- негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)

Способы избегания вредны и опасных производственных факторов, возникающие при пользовании Робота-толкателя.

2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)

Необходимые требования безопасности при ремонте агрегата.
Безопасность механического оборудования и элементов

2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности

- механические опасности (источники, средства защиты);
- термические опасности (источники, средства защиты);
- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита - источники, средства защиты);
- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)

Источники и средства защиты от опасных факторов (электробезопасность, термические опасность и т.д.).
Пожаро-взрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

3. Охрана окружающей среды:

- защита селитебной зоны
- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);
- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);
- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);

Экологическая безопасность исходных материалов

– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	Безопасность при возникновении ЧС
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	Контроль за выполнением требований безопасности
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ЮТИ	Солодский С.А.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
10Б60	Воробьев Андрей Алексеевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 105- страниц машинописного текста, 15-таблиц, 50-рисунков. Представленная работа состоит из шести частей, количество использованной литературы – Графический материал представлен на 5 листах формата А1 и листа А3.

Ключевые слова: разработка, роботизированная самоходная платформа, робот-толкатель, шнекоротор, система управления, системы позиционирования, алгоритм отработки движений, схемотехника, себестоимость, безопасность и экологичность.

Цель работы: проектирование активного шнекоротора для робота-толкателя кормов на животноводческой ферме, написание программы управления.

В аналитической части приведена характеристика роботов-толкателей и их сравнение.

В технологической части представлена программа управления агрегатом, необходимые расчеты для создания траектории движения.

В конструкторской части выпускной квалификационной работы представлен чертеж разработанной робота-толкателя и шнекоротора.

В разделе «Безопасность и экологичность проекта» выявлены опасные и вредные факторы, мероприятия по их ликвидации, а также техника безопасности.

В экономической части представлен концепт стартап-проекта .

Работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010 и в комплексной системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D и представлена на компакт-диске CD-R (в конверте на обороте обложки).

ABSTRACT

Final qualification work consists of 105-pages of typewritten text, 15-tables, 50-figures. The presented work consists of six parts, the amount of literature used - Graphic material is presented on 5 sheets of A1 format and A3 sheet..

Key words: development, a robotic self-propelled platform, a pusher robot, a screw rotor, a control system, positioning systems, an algorithm for practicing movements, circuitry, cost, safety and environmental friendliness..

The purpose of work: designing an Active Auger Rotor for a Feed Pusher Robot on a Livestock Farm, writing a control program..

The analytical part, the characteristics of pusher robots and their comparison are given.

The technological part, the unit control program is presented, the necessary calculations to create a trajectory of movement.

In the design part of the final qualifying work, a drawing of the developed pusher robot and screw rotor is presented.

In the section “Safety and environmental friendliness of the project” dangerous and harmful factors, measures to eliminate them, as well as safety measures.

In the economic part, the concept of a startup project is presented.

The work was performed in a text editor Microsoft Word 2010 and in the integrated computer-aided design system KOMPAS-3D and presented on the CD-R CD (in an envelope on the back of the cover).

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	14
1 Аналитический обзор.....	16
1.1 Подталкиватель кормов ПК–1	16
1.2 Автоматический подравнитель кормов LELY JUNO	18
1.3 Кормовой толкатель YOMO	19
1.4 Кормовой толкатель BUTLER XL.....	20
1.5 Робот - подталкиватель кормов COW-BOY	21
1.6 Робот-пушер OptiDuo - DeLaval	23
1.7 Системы позиционирования и их применение	24
1.8 Глобальные навигационные системы	24
1.9 Позиционирование в сотовых сетях.....	25
1.10 WiFi позиционирование	25
1.11 Системы позиционирования с использованием пассивных радиочастотных идентификаторов (RFID)	26
1.12 Позиционирование по технологии «ближнего поля»	26
1.13 Ultra Wideband (UWB) позиционирование.....	26
1.14 Локальные системы позиционирования	27
1.15 Система навигации Marvelmind.....	27
2 Расчеты и аналитика	31
2.1 Общепринятые стратегии движения трактора.....	31
2.2 Алгоритм определения местоположения робота.....	40
2.3 Методика и алгоритм расчета создания траектории движения	41
2.4 Схемотехника и описание электронных компонентов	47
3 Конструкторская часть	56

3.1 Описание конструкции.....	56
3.2 Тяговый баланс агрегата	58
3.3 Движущая сила МТА.....	60
3.4 Крутящий момент колеса	62
3.5 Детализовка шнекоротора	64
3.5.1 Корпус шнекоротора.....	65
3.5.2 Шнек.....	66
3.5.3 Индуктивный Датчик.....	68
3.5.4 Ультразвуковой датчик	69
3.5.5 Мотор-редуктор.....	69
3.5.6 Ремень привода шнекоротора.....	70
3.6 Расчет зубчато-ременной передачи.....	70
3.7 Подбор линейных приводов поворота колес.	72
4 Концепция стартап-проекта	75
4.1 Основные качества продукта, решаемая продуктом проблема.....	75
4.2 Защита интеллектуальной собственности	76
4.3 Объем и емкость рынка	77
4.4 Анализ современного состояния и перспектив отрасли	78
4.5 Расчет себестоимости продукта	78
4.5.1 Трудоемкость работ	78
4.5.2 Сырьё, комплектующие.....	82
4.5.3 Амортизационные отчисления по основным средствам	84
4.5.4 Накладные расходы	85
4.5.5 Итоговые затраты.....	85
4.5.6 Вычисление точки безубыточности	87

4.5.7 Срок окупаемости	88
4.6 Конкурентные преимущества продукта и обзор технико-экономических характеристик аналогов	89
4.7 Описание целевых сегментов потребителей	90
4.8 Бизнес-модель проекта и стратегия продвижения	91
5 Социальная ответственность.....	94
5.1 Анализ вредных факторов при эксплуатации агрегата.....	94
5.1.1 Безопасность механического оборудования	94
5.1.2 Безопасность элементов	95
5.2 Анализ опасных факторов проектируемого изделия	96
5.2.1 Механизация и автоматизация технологических операций	97
5.2.2 Безопасность органов управления.....	97
5.2.3 Безопасность средств защиты, входящих в конструкцию	98
5.2.4 Безопасность при монтажных и ремонтных работах	99
5.2.5 Безопасность при транспортировке и хранении	99
5.2.6 Безопасность при размещении.....	100
5.2.7 Требования безопасности к профессиональному отбору	100
5.2.8 Пожарная безопасность	100
5.2.9 Охрана окружающей среды	101
5.3 Экологическая безопасность исходных материалов	101
5.4 Безопасность при чрезвычайных ситуациях	101
5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	101
Заключение	103
Список использованных источников	104

Приложение А ФЮРА Б60.133.000	106
Приложение Б ФЮРА Б60.133.001	107
Приложение В ФЮРА Б60.133.002	108
Приложение Г ФЮРА Б60.133.003	109
Приложение Д ФЮРА Б60.133.004	110
Приложение Е ФЮРА Б60.133.005	

Компакт диск: В конверте на обороте обложки.

ФЮРА Б60.133.000 ПЗ Пояснительная записка. Файл Пояснительная записка.docx в формате Microsoft Office Word 2010.

ФЮРА Б60.133.001. Файл Б:\Шнекоротор .cdw в формате Компас 3-DV11.

ФЮРА Б60.133.002 Файл В:\Корпус Шнекоротора .cdw в формате Компас 3-DV11.

ФЮРА Б60.133.003 Файл Г:\Шнек .cdw в формате Компас 3-DV11.

ФЮРА Б51.107.004 Файл Д:\Перо шнека .cdw в формате Компас 3-DV11.

ФЮРА Б51.107.005 Файл Е:\Схема движения на ферме .cdw в формате Компас 3-DV11.

Введение

Увеличение частоты пододвигания кормов оправдывает себя тем, что частое потребление корма днем и ночью, благодаря чему увеличивается потребление кормов по всему стаду, оказывает благоприятные условия на здоровье животных и так же содействует увеличению продуктивности.

Фермеры часто сталкиваются с проблемой подравнивания корма. В случае если корм лежит неравномерно более крупные коровы отталкивают коров меньшего размера от тех мест где корм еще остался и перекрывают доступ к нему. Следовательно, коровы малого размера травмируются и не получают корма в достаточном размере. В результате чего идет снижение удоев и общей продуктивности скота, фермер несет финансовые потери. При недостаточно регулярном пододвигании и обеспечении постоянной доступности идет сортировка корма, что увеличивает остаток и перерасход кормов. Подравнивание – важный и нужный процесс, с которым человек зачастую справляется плохо. Человек физически не способен в одиночку своевременно справиться с необходимым объемом работ: пододвинуть, размешать, подровнять.

Для решения выше перечисленных проблем человек обращается к современным разработкам, таким как роботизированные подталкиватели кормов. Данная техника способна самостоятельно составить план участка, наметить маршрут, задать рабочий график и определить границы обрабатываемого участка.

Любая другая техника и даже человеческий фактор неблагоприятно сказываются на психологическом состоянии животных, что приводит к снижению их продуктивности. Робот толкатель позволяет снизить риски стресса у скота. Он проводит запрограммированные работы максимально бесшумно и незаметно. Качество выполнения работы на много выше и не требует дополнительных затрат на содержание работников и инвентарь.

Цель работы – проектирование активного шнекоротора для робота-толкателя кормов на животноводческой ферме, написание программы управления.

Виды работ, выполняемые роботом толкателем, напрямую связаны с пододвиганием и переворачиванием кормов при помощи шнекороторного механизма.

1 Аналитический обзор

Стремительное развитие технологий заставляет двигаться вперед и заменять вчерашние «новинки» современными устройствами, способными выполнять работу вместо человека.

В рамках нашей разработки к такому оборудованию относится робот толкатель. Благодаря своим возможностям он способен составить конкуренцию уже имеющимся его аналогам и большим устаревшим тракторам. Так же при помощи встроенных навигационных систем он способен самостоятельно составить план участка, наметить маршрут и выбрать режим обработки участка.

Автономность самоходного робота толкателя позволяет минимизировать участие человека в его работе. Владельцу такого устройства необходимо только проводить техническое обслуживание: внешний осмотр, подкачка колес, смазка трущихся деталей, обслуживание аккумуляторной батареи.

Как и любой робот, робот толкатель требует первоначальной настройки для качественного выполнения работ на заданном участке. При необходимости владелец в любой момент может внести свои коррективы в маршрут и время работы прописанных изначально. Сделать это можно при помощи пульта управления или путем использования открытых стандартов передачи данных (Bluetooth), а также через приложение для управления техникой со смартфона.

1.1 Подталкиватель кормов ПК–1

Подталкиватель кормов ПК–1 производства Слободского Машиностроительного Завода толкает корма в сторону животных по всей длине кормового стола несколько раз сутки. Использование автоматического подталкивателя кормов (пододвигателя кормов, подравнивателя кормов) позволяет снизить затраты на ручной труд и повысить продуктивность вследствие полного потребления рациона.

Использование: пододвигателя кормов, подравнивателя кормов

Автоматический подталкиватель кормов ПК–1 адаптируется к любому коровнику. В кормовом проходе он ориентируется при помощи ультразвуковых и индуктивных датчиков.

Отличительная особенность пододвигателя кормов ПК–1 от зарубежных моделей — это колеса большего диаметра, которые позволяют преодолевать ему все неровности и уклоны покрытия кормового прохода.

Модель оснащена двумя гелевыми аккумуляторами емкостью 100А/ч, благодаря чему подталкиватель имеет большой запас хода. Скорость работа 10...12 м/мин, емкости батареи хватает на 2 часа автономной работы. Маршрут движения робота — подравнивателя кормов начинается и заканчивается в месте установки зарядной станции. Мимо нее он не проедет, даже если отсутствует электроэнергия. Подталкиватель может продолжить свой маршрут в любой точке кормового стола, в том числе, если он был аварийно остановлен или полностью выключен. Возможна настройка скорости электродвигателей при разном износе шин.

Цена: 1,25 млн. руб.



Рис. 1 Подталкиватель кормов ПК–1

1.2 Автоматический подравнитель кормов LELY JUNO

Характеристики Lely Juno – подравнитель кормов на аккумуляторных батареях, оснащенный энергосберегающим электродвигателем. Модель оснащена двумя аккумуляторами емкостью 55А/ч. Скорость робота 10...12 м/мин, емкости батареи хватает на 1 час автономной работы. Вращающаяся плоскость в нижней части Lely Juno пододвигает корм к кормовой решетке, в то время как машина едет по прямой линии. Тяжелый бетонный блок образует «корпус» подравнителя и придает ему необходимую для перемещения кормов массу. Lely Juno подходит для любых твердых и ровных кормовых столов и может перемещаться вдоль любых кормовых решеток. При этом он может пододвигать массу кормов высотой до 65 см.

Цена: 1,2 млн. руб.



Рис. 2 Автоматический подравнитель кормов LELY JUNO

1.3 Кормовой толкатель YOMO

Робот управляется двумя колесами и поддерживается тремя колесами. Встроенные ультразвуковые датчики гарантируют, что питательные толкатели бегут вдоль забора питания на заранее определенном расстоянии. Молочные фермеры могут использовать контроллеры E-link для установки этих расстояний. Корпус этого устройства изготовлен из толстого бетона, который обеспечивает необходимую мощность толкания корма на всем заданном расстоянии для толкателя корма.

Модель оснащается двумя аккумуляторами емкостью 55-110А/ч, благодаря чему подталкиватель имеет большой запас хода. Скорость работа 12...20 м/мин, емкости батареи хватает на 30 минут автономной работы. Одной из особенностей робота YOMO являются датчики индукционной системы, что гарантирует, что устройство будет обрабатывать как заданный маршрут заранее по правилу и линии. Этот датчик может обнаружить металлическую ленту, предварительно установленную и маркированную конечную точку возле зарядной станции. Робот подходит для различных горизонтальных и мощных каналов подачи. Может быть использован другой тип подачи забора, и может быть толкнут до 75 см корма кучи.

Цена: 1,4 млн. тыс. руб.



Рис. 3 Кормовой толкатель YOMO

1.4 Кормовой толкатель BUTLER XL

Робот BUTLER XL был спроектирован специально для толкания кормов на ферме. Легко внедряются не только на фермы КРС, но и на предприятия с другими животными.

Модель оснащена двумя необслуживаемыми аккумуляторами по 12 В на 105 А/ч что дает автономность работы на 2 часа. Установлен бесщеточный двигатель, не требующий технического обслуживания и интеллектуальной зарядной станцией, которую можно перемещать.

Управление производится через приложение Access, что позволяет его использовать с ПК, планшета и мобильного телефона из любой точки мира.

Цена: 1,3 млн. руб.



Рис. 4 Кормовой толкатель BUTLER XL

1.5 Робот - подталкиватель кормов COW-BOY

Робот COW-BOY обеспечивает круглосуточную работу для поддачи животным кормов. Он регулярно пододвигает корм 24 часа в день, 7 дней в неделю, 365 дней в году. Во время работы робот пододвигает корма, не причиняя беспокойства животным. Приближение пододвигателя-робота, который ассоциируется с едой, мотивирует коров передвигаться. Постоянная доступность корма повышает его потребление, особенно в темное время суток. Корм для коров с подчиненным положением в стаде становится более доступным.

Робот-подравнитель корма работает от аккумуляторов и после каждого цикла работы возвращается к зарядной станции, которую устанавливают в удобном месте кормового прохода.

- Работает на свинцовых аккумуляторах: 2 батареи 12 В с низким разрядом;

Циклы:

- Цикл запускается автоматически или вручную;
- Пододвигатель адаптируется к количеству корма на кормовом столе. Робот адаптирует свое положение и затрачиваемое усилие для пододвигания в зависимости от количества корма на кормовом столе;
- Робот возвращается к док-станции после каждого цикла.

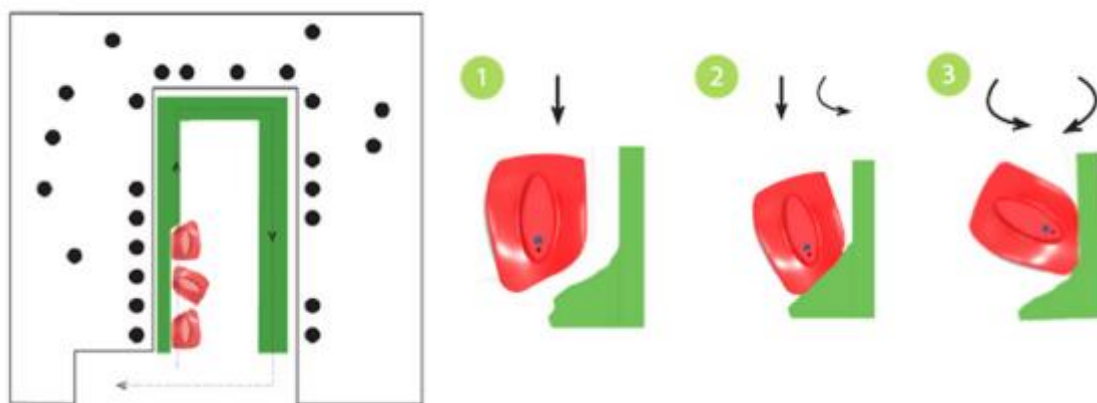


Рис. 5 Схема пододвигания корма

Цена: 1,5 млн. руб.



Рис.6 Робот - подталкиватель кормов COW-BOY

1.6 Робот-пушер OptiDuo - DeLaval

OptiDuo служит для перемешивания и перераспределения корма на кормовом столе. Корм перемещает шнек с двойной спиралью и адаптивным приводом.

Пододвигатель может быть оснащен также блоком раздачи концентрата (опционально). Система может автоматически транспортировать различные типы корма, включая любые моносмеси (TMR), солому, сено и свежую траву.

OptiDuo можно применять даже в ситуации, когда пол коровника имеет небольшой наклон (до 5 градусов), он способен работать в помещениях с различной шириной проходов, самостоятельно перемещаться не только по коровнику, но и между дворами.

Доступность: Представлен в июне 2018 года.

Цена: 1,1 млн. руб.



Рис. 7 Робот-пушер OptiDuo - DeLaval

1.7 Системы позиционирования и их применение

Применение систем идентификации и позиционирования материальных объектов – людей, подвижных механизмов, транспортных средств и различных предметов – особо актуальное направление оптимизации технологических и бизнес процессов. Эти системы уже используются в самых различных сферах деятельности. Принимаясь мониторингом пациентов, персонала, лекарств и оборудования в клиниках и заканчивая контролем местонахождения инструментов, сборочных единиц и рабочих на конвейере. Разнообразие областей и направлений применения породили множество технологий.

Для позиционирования используются несколько групп технологий. Прежде всего, это спутниковые навигационные системы – ГЛОНАСС, GPS, и др. Самую многочисленную группу составляют радиочастотные технологии – RFID. Также можно выделить технологии инфракрасного и ультразвукового позиционирования [5].

Среди радиочастотных технологий можно выделить технологии, которые изначально были предназначены для оказания услуг связи, (Wi-Fi, Bluetooth, сотовая связь), и те, которые по физическим свойствам модуляции в наибольшей мере подходят для позиционирования – это CSS (Cascading Style Sheets), UWB (Ultra-Wide Band), NFER (Near-field electromagnetic ranging) и др.

1.8 Глобальные навигационные системы

Лучшую точность на сегодня обеспечивает GPS, точность позиционирования которой не менее шести метров. А новое поколение спутников, запускаемых в настоящее время, обеспечит точность не менее 60-90 см.

Большой минус всех глобальных систем – зависимость от условий использования. Практически невозможно определять местонахождение внутри зданий, в подвалах или тоннелях, уровень сигнала сильно ухудшается даже при

большой облачности. На прием сигналов GPS так же влияют и помехи от наземных источников.

1.9 Позиционирование в сотовых сетях

Позиционирование в сотовых сетях разработали одним из первых. Это объясняется широким распространением сотовой связи и относительной простотой метода Cell Of Origin – по местонахождению соты, к которой подключился абонент. Точность такого позиционирования определяется радиусом действия соты. Для более точного определения координат используют данные от нескольких базовых станций. Существует несколько таких методов.

Angle of arrival – направление на абонента. Местонахождение определяется на пересечении секторов нескольких станций. Обычно точность этого метода не более 100-200 метров.

Time of arrival – время прибытия. При этом методе измеряется время прихода сигнала от абонента на минимум три базовые станции. Точность метода – около 100 метров.

1.10 WiFi позиционирование

Простейший способ позиционирования в WiFi сетях, подобно сотовым, по базовой станции, к которой подключен абонент. Способ используется для оказания различных видов услуг, в зависимости от типа подключенного устройства и его местонахождения. Радиус действия WiFi точек доступа обычно составляет от 30 до 200 метров, чем определяется точность позиционирования, которая, к сожалению, не высока. В идеальных условиях она составляет в 3-5 метров, в реальных – 10-15 метров. Как и в сотовых сетях, в сетях Wi-Fi идентификация объекта возможна, но обычно такая задача не ставится.

1.11 Системы позиционирования с использованием пассивных радиочастотных идентификаторов (RFID)

Основное назначение систем с пассивными RFID метками – идентификация. Они применяются в системах, традиционно использовавших штрих-коды или магнитные карточки – в системах распознавания грузов и товаров, опознавания людей.

Стоимость систем с пассивными RFID метками выше стоимости систем с штрих-кодами или магнитными карточками, но использование пассивных RFID существенно разгружает операторов.

1.12 Позиционирование по технологии «ближнего поля»

Технология измерения расстояния в близком электромагнитном поле (NFER) использует метки-передатчики и один или несколько приемников. Точность позиционирования в реальных условиях составляет 1м на расстоянии до 30м. Радиоволны огибают препятствия, не отражаются. Поэтому NFER технология имеет преимущества в помещениях с большим количеством препятствий.

1.13 Ultra Wideband (UWB) позиционирование

В технология UWB принимают короткие импульсы с максимальной полосой пропускания при минимальной центральной частоте. Технология используется в связи, радиолокации, измерении расстояний и позиционировании. Это обеспечивается передачей коротких импульсов, широкополосных по своей природе

Преимущества технологии: надежная работа, высокая точность, устойчивость к многолучевому затуханию.

1.14 Локальные системы позиционирования

Ультразвуковая локальная система позиционирования – система позиционирования для роботов, являющаяся близким аналогом спутниковых систем навигации как в аппаратной, так и в программно-алгоритмической части.

Основным компонентом спутниковых систем позиционирования являются космические аппараты, которые имеют единую высоту и период вращения вокруг Земли. Организация данной системы в помещении не приведет к удовлетворительным результатам из-за малого расстояния между передатчиком и приемником, которое во много раз меньше расстояния между космическим спутником и приемником на Земле, а также, из-за огромной скорости радиоволны. Следовательно, в помещении уместнее использовать звук, так как он имеет меньшую скорость (~ 340 м/с).

Принимая во внимание скорость звука и его рабочий цикл, можно определить точное расстояние до предмета. Ультразвуковые датчики работают с пьезоэлектрическим преобразователем, который является как и звуковым излучателем, так и приемником. Интегрируемый контроллер вычисляет расстояние по времени эха и скорости звука.

1.15 Система навигации Marvelmind

Система навигации внутри помещений «Marvelmind» - это готовая навигационная система, предназначенные для определения точных (± 2 см) данных о местоположении для автономных роботов, транспортных средств, и вертолетов. Именно эту систему мы решили установить на наш агрегат.

Ультразвуковые маяки обмениваются данными по радиоканалу, используя открытый нелицензируемый диапазон. Местонахождение мобильного маяка, установленного на роботе, тележке, коптере или человеке, рассчитывается с использованием трилатерации на основании задержки распространения ультразвукового сигнала к множеству стационарных ультразвуковых маяков.

Проще говоря, маяки располагаются в заданных точках и по очереди испускают ультразвуковой сигнал. Соседний маяк принимает сигнал и

рассчитывает разность времени приема сигналов от каждого устройства. Такое “общение” маяков координирует по радио центральный роутер. Зная начальные координаты передатчиков, а также то, как быстро прошел от каждого из них ультразвуковой сигнал до другого, можно узнать координаты мобильного маяка.

Каждый маяк включает в себя пять ультразвуковых датчиков, интегральную схему, антенну и литий-полимерный аккумулятор.

Маяки нужно устанавливать в помещении на расстоянии до 50 м. При этом точность навигации составит 1-3% расстояния между маяками, до 1-2 см. Минимальное количество маяков для эффективной трилатерации – три.

Базовая система, которая включает в себя четыре стационарных и один мобильный маяк, обеспечит эффективную навигацию в помещениях общей площадью до 1000 кв.м. Чтобы работать на более крупных объектах, потребуется больше маяков, система легко масштабируется. Вручную задавать координаты маяков не нужно – все происходит автоматически [6].

Ключевые требования к функциональности системы:

- Для 3D (x, y, Z) отслеживания – беспрепятственное прохождение сигнала на мобильный маяк с трех или более стационарных маяков одновременно.
- Для 2D (x, y) отслеживание – беспрепятственное прохождение сигнала на мобильный маяк двух или более стационарных маяков одновременно
- Расстояние между ближайшими маяками – не более 30 метров. В идеальных условиях – до 50 метров,

Технические характеристики «Marvelmind» представлены в таблице 1.

Таблица 1 Технические характеристики «Marvelmind»

Характеристика	Показатель
Расстояние между маяками	До 50 метров
Зона покрытия	До 1000 м ²
Точность определения местоположения	2см
Размер маяка	55x55x33 мм
Скорость обновления местоположения	0.05–45гц (можно установить вручную). Зависит от расстояния между мобильным и стационарным маякам, от количества мобильных маяков и в малой степени от количества стационарных маяков
Питание	Срок службы батареи зависит от интенсивности использования
Внутреннее:	<ul style="list-style-type: none"> • LiPol батарея 1000mah. Стационарный радиомаяк со скоростью обновления 16 Гц до 72ч;
Внешнее:	<ul style="list-style-type: none"> • Стационарный радиомаяк со скоростью обновления 1hz – около 1 месяца; <p>Мобильный радиомаяк со скоростью обновления 8 Гц – 12ч;</p>

Сравнительные характеристики рассмотренных систем навигации приведены в таблице 2:

Таблица 2 Сравнительные характеристики систем навигации

Тип RTLS	Точность, м	Дистанция, м	Стоимость
Пассивные RFID	-/-	Менее 1	Низкая
ГЛОНАСС	10-15	-/-	Низкая
Сотовая связь	100-500	-/-	Низкая
Wi-fi	3-5	50	Средняя
Инфракрасное	0,1	3-10	Высокая
Ультразвуковое	0,1	3-10	Высокая
Активные RFID	1-3	20-100	Средняя
NFER	0,5	20-30	Низкая
UWB	0,1	10	Высокая
Marvelmind	0,02	50	Высокая

2 Расчеты и аналитика

Современная самоходная техника сегодня работает на ферме с использованием автопилота. Выполнение работ на ферме позволяет снизить затраты времени и физического труда человека.

Все известные системы автоматического пилотирования предполагают установку курсоуказателя, контроллера и приемника сигналов GPS [7].

Поэтому во всем мире проводятся интенсивные исследования по созданию технологий навигации роботов с использованием indoor технологий, которые реализуются с помощью сканирующего лазерного дальномера, беспроводных сетей, ориентиров, а также соответствия картам местности, и др. Подобные разработки ведутся как в России, так и за рубежом.

Ключевыми в данном вопросе являются:

- США – Карнеги Меллон (Carnegie Mellon University), Стэнфорд (StanfordUniversity), Германии – Бонн (University of Bonn), Австралии – Сидней (The University of Sidney)

В России это:

- НИИ СМ МГТУ им. Н.Э. Баумана, НУЦ «Робототехника», ЦНИИ РТК, ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

На основе данных, полученных от систем позиционирования, создаются подсистемы планирования маршрута и подсистемы управления движением робота.

2.1 Общепринятые стратегии движения трактора

Алгоритм движения описывает, как и по какому пути должен двигаться робот, чтобы полностью обработать участок кормовой полосы безопасно и эффективно в части затрат энергии и времени.

Колесные агрегаты большую часть времени находятся в криволинейном движении, при этом, траектория непрерывно изменяется. Маневренность движения обусловлена необходимостью совершать повороты в соответствии с

задаваемой траекторией, а также отклонением агрегата от нее по причине действия внешних возмущающих сил. При движении на прямолинейных участках пределы изменения радиуса кривизны траектории небольшие, поэтому такое движение рассматривается условно как прямолинейное, что позволяет рассматривать эксплуатационные свойства отдельно как при прямолинейном, так и при криволинейном движениях.

Управляемость колесных машин – способность сохранять заданное направление движения, а при необходимости – изменять его по необходимой траектории. Соответственно, способность сохранять необходимое направление движения называется устойчивостью движения, а способность изменять направление по требуемой траектории – поворачиваемостью.

Машинные агрегаты двигаются с определенной цикличностью. Циклично повторяющееся чередование рабочих ходов, поворотов и заездов называется способом движения машинного агрегата.

Среди различных способов движения агрегатов выделяют три группы основных:

- гоновые (агрегаты движутся вдоль одной из сторон участка);
- диагональные (движение осуществляется под острым или тупым углом к сторонам участка);
- круговые (агрегаты при работе копируют контуры участка).

При движении агрегат выполняет полезную работу или поворачивает. Траектория движения агрегата на участке состоит из прямолинейных рабочих ходов и различных поворотов. Движение агрегата на повороте, при выезде из борозды, когда рабочие органы машины или орудия не взаимодействуют этот период, называется холостым ходом. Если холостые ходы нельзя осуществить вне обрабатываемого участка. Ширина поворотной полосы зависит от радиуса поворота агрегата и вида поворота (См. рис. 8). Ширина поворотной полосы должна быть кратной ширине захвата агрегата, чтобы после обработки основного участка ее можно было обработать целым числом проходов. Ширина поворотной полосы должна быть минимальной, обеспечивающей поворот

агрегата для следующего заезда. Наибольшая ширина поворотной полосы получается при полном петлевом повороте, наименьшая - при поворотах по полуокружности и с холостым пробегом.

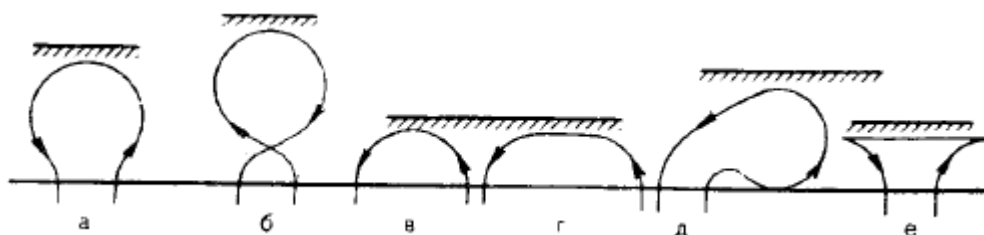


Рис.8 Основные виды поворотов МТА

А - петлевой; б - петлевой восьмеркой; в - полуокружность; г – с холостым пробегом; д – грушевидный; е – с применением заднего хода.

В случае с самоходной автоматизированной платформой движение может быть челночный, комбинированным, вразвал а также по краю и в углах участка.

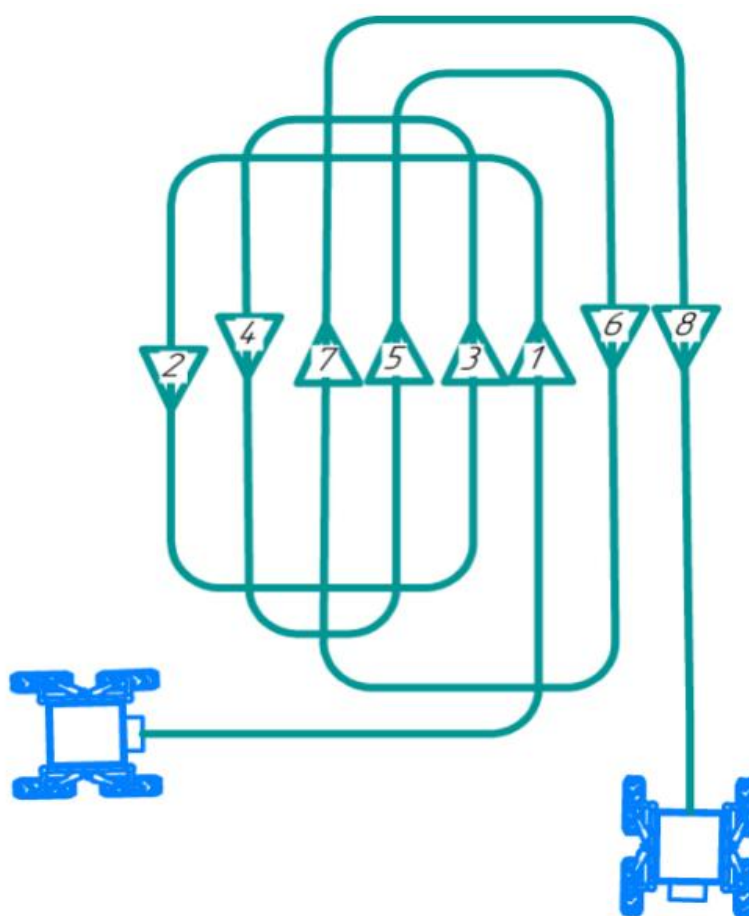


Рис. 9 Комбинированное движение агрегата

При комбинированном способе движения самоходная автоматизированная платформа может гораздо быстрее обработать участок, чем при других видах движения. При таком движении рабочий орган будет задействован все время движения агрегата, а количество холостых ходов сводится к минимуму, что делает вспашку поля максимально эффективным. Агрегат совершает движение параллельно сторонам загона, непрерывно в одном направлении по спирали от периферии к центру или от центра к периферии. Траектория движения МТА от периферии к центру (См. рис 9) представляет собой свертывающуюся спираль, а при движении от центра к периферии (См. рис. 10) – развертывающуюся спираль, начинающуюся от центральной площадки. Работа МТА по круговому способу движения выгодна на прямоугольных загонах с соотношением сторон не менее 4:1.

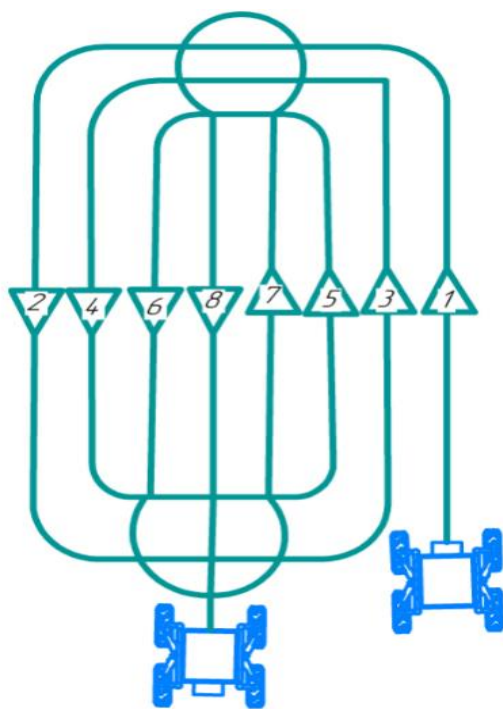


Рис. 10 Круговое движение от периферии к центру

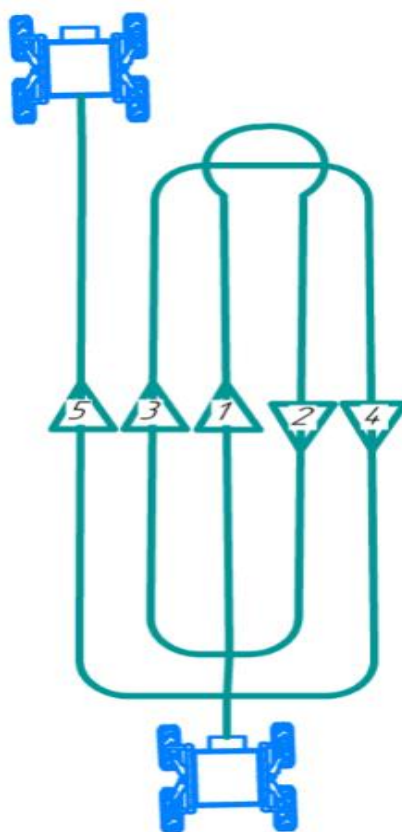


Рис.11 Круговое движение от центра к периферии

Гоновый способ – это когда агрегат делает прямолинейные рабочие ходы вдоль загона или под углом к продольной линии загона с холостыми поворотами и заездами у поперечных краев загонов. На конце участка агрегат совершает поворот на 180. На прямоугольных участках с гоновым способом движения наибольший эффект достигается при направлении рабочих ходов (гонов) агрегата по длинной стороне загона, что уменьшает число поворотов (См.Рис.11). Данный способ наиболее эффективен для высокоманевренных агрегатов.

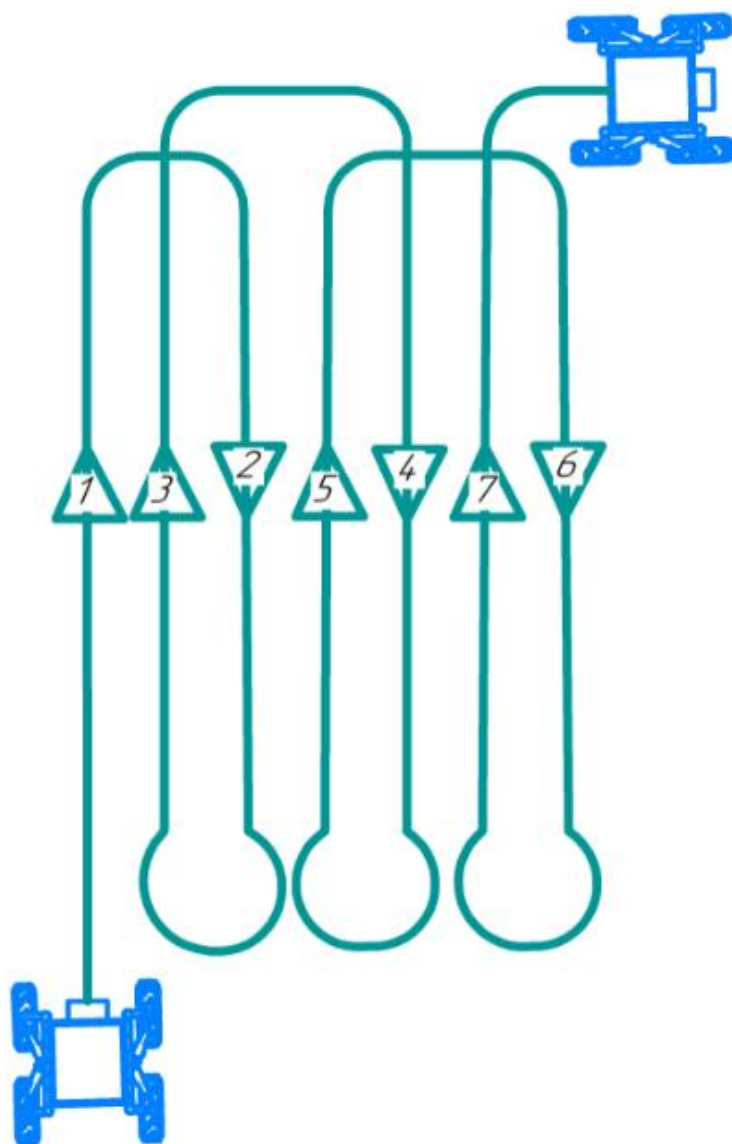


Рис. 12 Гоновый способ движения

При гоновом способе (параллельными полосами) движения на концах загонов необходимо оставлять поворотные полосы для холостых проходов агрегата. Для облегчения обработки полосы ее ширина должна быть кратна ширине захвата шнекоротера, чтобы не делать рабочих ходов с неполным захватом или дополнительных холостых ходов. Этот вид движения распространен больше остальных ввиду его простоты и эффективности. (См. Рис. 12).

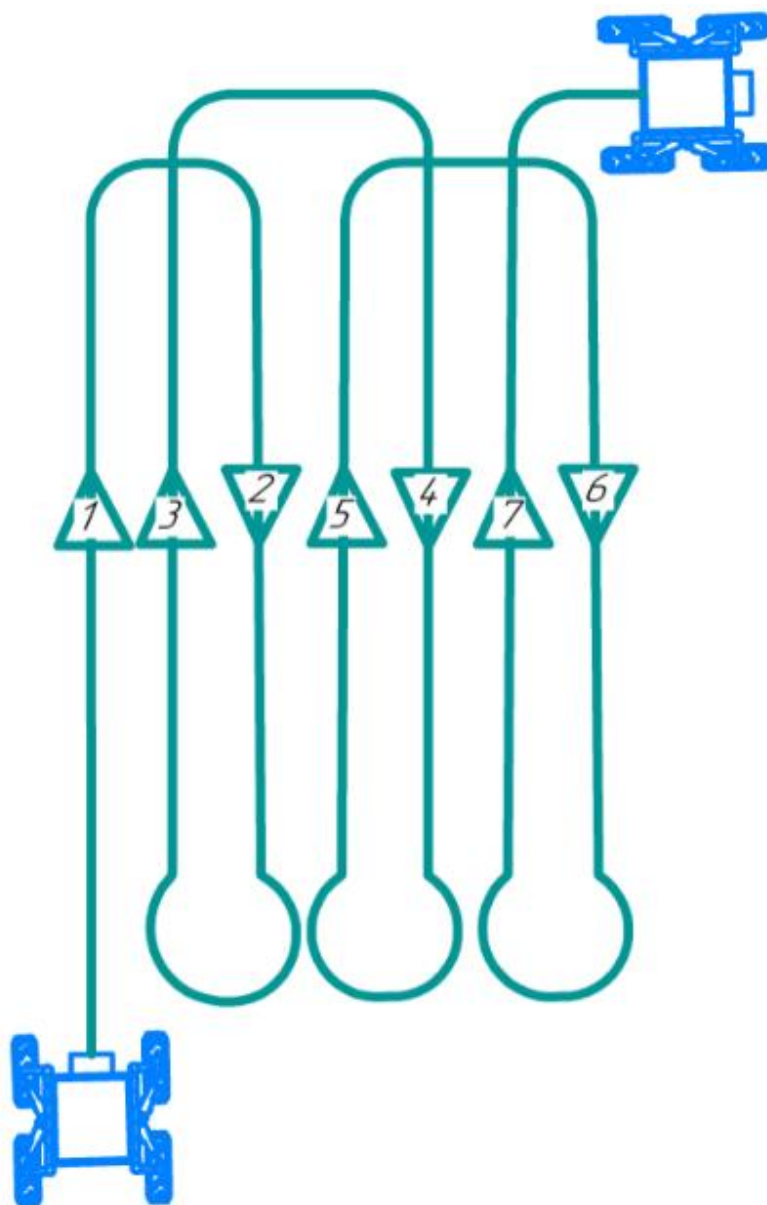


Рис.13 Необработанные области при способе движения челночное

Если участок имеет неправильную форму, то загоны и поворотные полосы размечают в виде прямоугольника или трапеции, чтобы неправильная форма отражалась только на длине гона.

Все эти виды движения не учитывают изменение траектории вследствие появления препятствия. Но ведь можно разложить зону обработки на области без препятствий и обрабатывать их, используя стандартные виды движения (См. рис. 14). Минус данного способа в том, что эти подобласти могут быть слишком малы для агрегата. То есть идет частичных захват корма и тратится время на переезд агрегата с одной стороны фермы на другую.

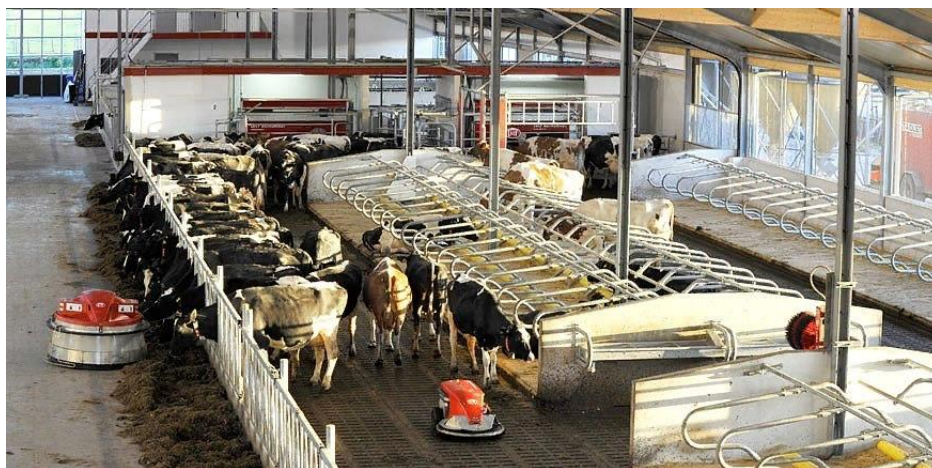


Рис.14 Роботизированная ферма

В нашем же агрегате реализован челночный способ движения, с полукруговой системой разворота. При появлении препятствий алгоритм позволяет остановить роботизированную платформу и продолжить движение после отсутствия преград.

Достаточно весомым компонентом любого способа движения является радиус поворота агрегата. Ведь, чем меньше радиус поворота, тем меньше времени и энергии затрачивается на совершение разворота.

Разработанная роботизированная платформа при повороте приводит все колеса в положение 50 градусов (См. Рис. 15). При прямолинейном движении все четыре колеса имеют возможность подруливания, при этом они являются ведущими. (См. Рис. 16);

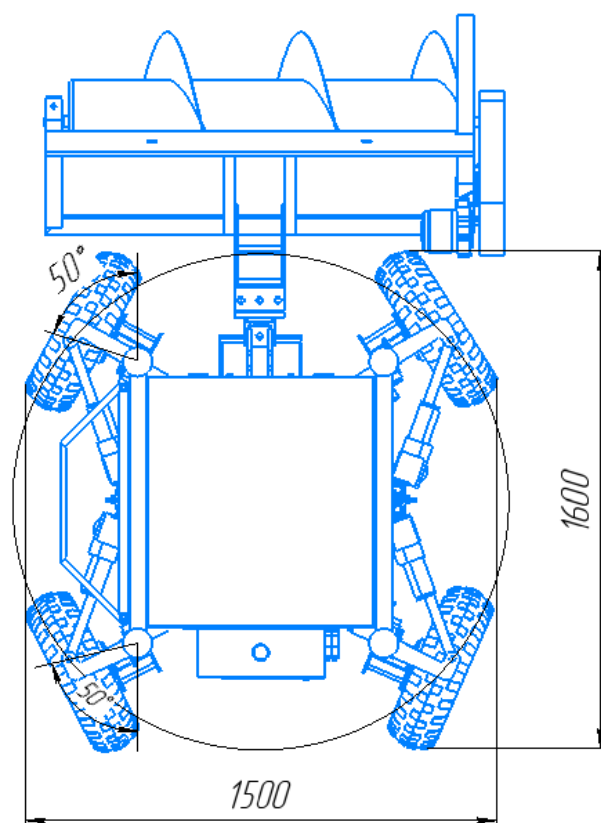


Рис.15 Положение колес при развороте

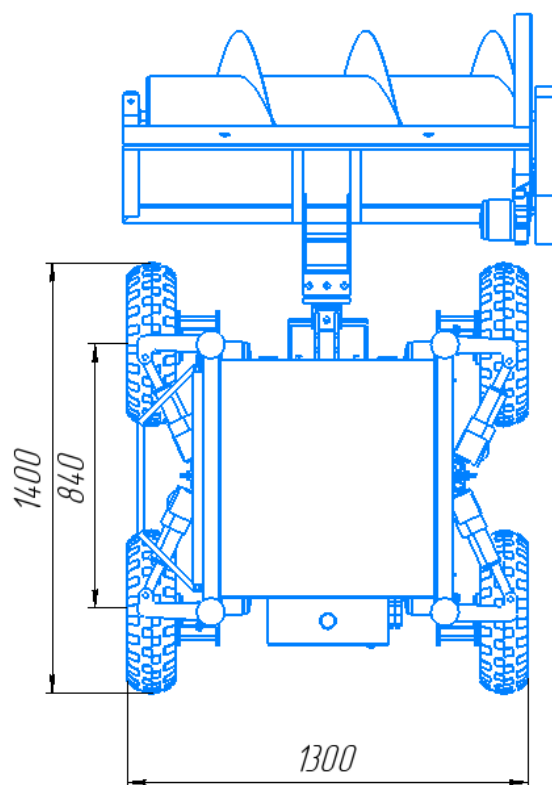


Рис. 16 Положение колес для прямолинейного движения

2.2 Алгоритм определения местоположения робота

Для нахождения положения робота используется алгоритм трилатерации. Трилатерация – геометрический метод, который использует расстояние между тремя anchor-датчиками и одним неизвестным, для определения положения неизвестного [9].

Местоположение приёмника О будет являться точкой начала координат (0; 0), а Приёмники А и Б расположены взаимно перпендикулярно (см. Рис. 17). Расстояние от Приёмника О до Приёмника А (обозначим как i) и от Приёмника О до Приёмника Б (обозначим как j) известно. С геометрической точки зрения задача трилатерации сводится к нахождению точки пересечения трех или четырех сфер, координаты центра которых известны (ими являются Приёмники О, А, Б), а радиусом которых является расстояние от центра каждой из сфер до робота [10].

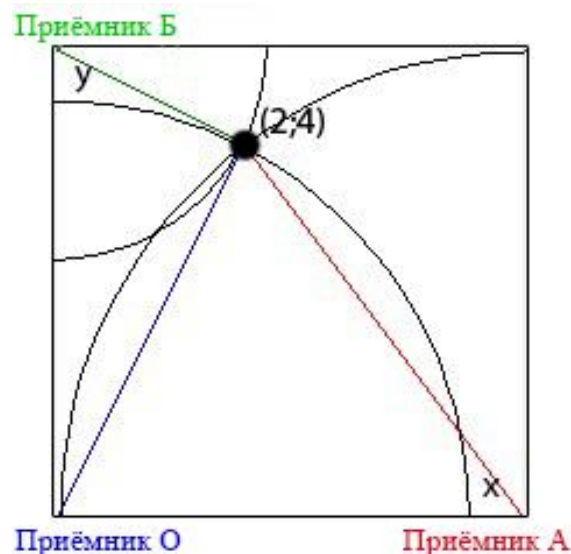


Рис. 17 Алгоритм трилатерации

В сжатом виде алгоритм работы системы выглядит следующим образом:

1. Определение температуры
2. Расчет скорости звука
3. Отправка синхросигналов
4. Получение времени задержки Приёмника О
5. Отправка синхросигналов

6. Получение времени задержки Приёмников А, Б
7. Расчет расстояний до робота
8. Расчет координат робота

2.3 Методика и алгоритм расчета создания траектории движения

На сегодняшний день разрабатываются различные методы решения задачи определения положения мобильного робота, позволяющие не только получить оценки текущих скоростей и положения робота, но и характер рельефа. В каждом случае необходимо аналитически исследовать все параметры и в комплексе решать задачу прокладки маршрута.

Для создания траектории движения газонокосилки по участку известны различные способы маневрирования, приведенные выше [11]. С учетом известного было решено внедрить собственный способ расчета траектории.

Алгоритм работы разработанной системы управления следующий:

1. сначала в ручном режиме с помощью телеметрии определяется периметр участка, на котором планируется скашивание газонной травы;
2. во время движения робота система позиционирования отслеживает координаты точек по периметру с необходимым шагом;
3. система позиционирования фиксирует координаты в программе виде массива данных.

После фиксирования координат необходимо подвести робота на стартовую координату.

Для автоматического управления сначала определим текущие координаты положения и зададим движение машины в течение двух, трех секунд. После чего определим новые координаты положения и рассчитаем скорость движения робота и угол, на который машина должна повернуться, чтобы попасть в точку старта программы.

Для примера возьмем координаты точек и покажем математическую модель в системе MathCad:

$$\begin{aligned} x &:= (0 \ -8.4 \ 3.12 \ 25.86 \ 53.36 \ 81.22 \ 82 \ 108.2 \ 111.38 \ 99.34 \ 67.29 \ 14 \ 5)^T \\ y &:= (0 \ 30 \ 68.11 \ 82.7 \ 87.9 \ 82.7 \ 62.7 \ 49.4 \ 30.8 \ 5.5 \ 4 \ -4 \ -1)^T \end{aligned} \quad (1)$$

Координаты (1) опорных точек покажем на графике рис. 18:

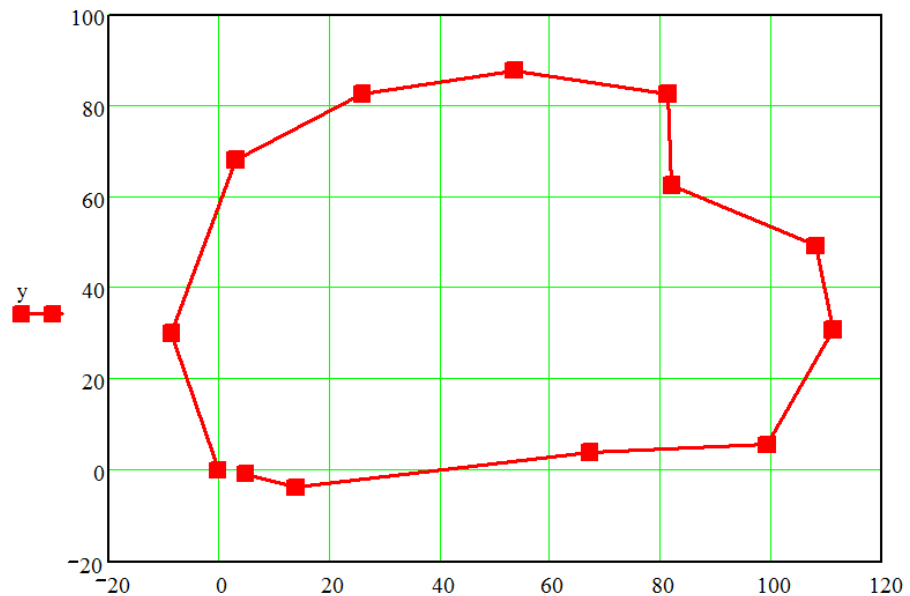


Рис.18 График координат периметра внешнего контура

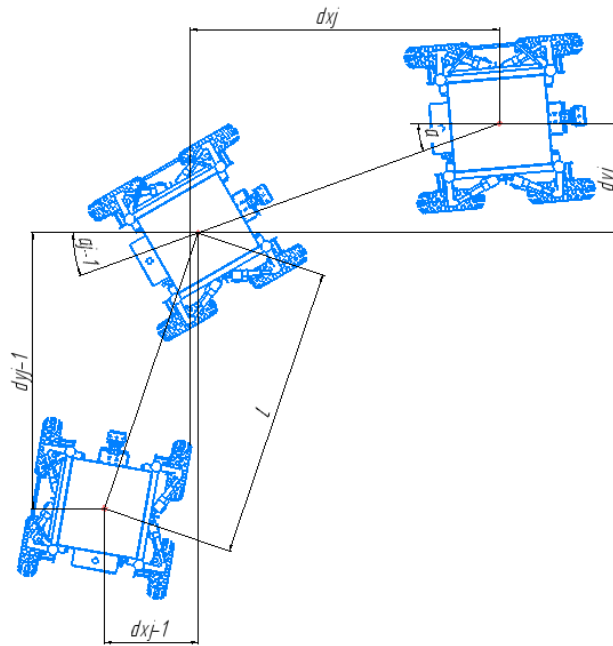
Для расчета угла поворота машины воспользуемся формулой для вычисления косинуса угла между двумя векторами на плоскости.

$$\cos(\widehat{\vec{a}, \vec{b}}) = \frac{a_x b_x + a_y b_y}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2} \sqrt{b_x^2 + b_y^2}} \quad (2)$$

Чтобы найти числовое значение угла, необходимо вычислить длины векторов через координаты трех точек и скалярного произведения значений векторов.

Для расчета направления поворота необходимо рассчитать определитель матрицы разницы между координатами.

Далее на рис. 19 показан фрагмент программы MathCad для расчета угла поворота. Здесь предполагается, что робот уже имеет направление по оси Y.



$$\begin{aligned}
 \text{Angle}_j &:= \begin{cases} dx_j \leftarrow x_j - x_{j-1} \\ dy_j \leftarrow y_j - y_{j-1} \\ \alpha_j \leftarrow \arccos \left[\frac{(dx_{j-1} \cdot dx_j) + (dy_{j-1} \cdot dy_j)}{\sqrt{(dx_j)^2 + (dy_j)^2} \cdot \sqrt{(dx_{j-1})^2 + (dy_{j-1})^2}} \right] \\ A_j \leftarrow \begin{pmatrix} dx_{j-1} & dy_{j-1} \\ dx_j & dy_j \end{pmatrix} \\ \alpha_j \leftarrow -\alpha_j \text{ if } |A_j| > 0 \\ \alpha_1 \leftarrow \operatorname{atan} \left(\frac{dx_1}{dy_1} \right) \text{ if } dy_1 > 0 \\ \text{otherwise} \\ \left| \begin{aligned} \alpha_1 &\leftarrow -\operatorname{atan} \left(\frac{dy_1}{dx_1} \right) + \frac{\pi}{2} \text{ if } dx_1 > 0 \\ \alpha_1 &\leftarrow \operatorname{atan} \left(\frac{dy_1}{dx_1} \right) + \frac{\pi}{2} \text{ otherwise} \end{aligned} \right. \\ \alpha_j \end{cases}
 \end{aligned}$$

Рис.19 Фрагмент блока программы расчета углов поворота

Расчеты для координат (1) показали следующие значения углов:

	0
0	0
1	-15.6422
2	32.4614
3	40.4966
4	21.9766
5	21.2801
6	77.1941
7	-60.8527
8	53.3842
9	35.1512
10	61.8711
11	-5.858
12	26.9725

Рис.20 Рассчитанные значения углов

Для создания программы заполнения всей площади поля произведем расчет промежуточных координат точек. Но сначала найдем центр масс полученной фигуры, ограниченной периметром с координатами по формуле:

$$X_c := \frac{\sum_{i=0}^k x_i}{k}; Y_c := \frac{\sum_{i=0}^k y_i}{k} \quad (3)$$

Для представленных опорных точек периметра траектории, значения координат центра тяжести фигуры будут: $X_c=53.5\text{см}$; $Y_c=41.6\text{см}$

Далее для каждой i -й точки рассчитаем расстояние до центра

$$DlinaRadiusa_i := \sqrt{(X_c - x_i)^2 + (Y_c - y_i)^2} \quad (4)$$

С учетом параметра ширины захвата рабочего органа рассчитаем количество треков для каждой точки. Из полученных значений выберем наибольшее и округлим его до целого значения. Фрагмент программы в системе MathCad показан на рис. 21.

Теперь разобьем каждый отрезок, определяющий расстояние от центра площади до каждой точки на максимальное число и найдем приращение на отрезках через координаты:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Xtrack} := \text{for } j \in 0.. \text{NumTrek} - 1 & \text{Ytrack} := \text{for } j \in 0.. \text{NumTrek} - 1 \\
 \text{for } i \in 0.. k & \text{for } i \in 0.. k \\
 \left| \begin{array}{l} \text{Jat} \leftarrow \frac{j}{\text{NumTrek} - j} \\ \text{Xt}_{j,i} \leftarrow \frac{x_i + \text{Xc} \cdot \text{Jat}}{1 + \text{Jat}} \end{array} \right. & \left| \begin{array}{l} \text{Jat} \leftarrow \frac{j}{\text{NumTrek} - j} \\ \text{Yt}_{j,i} \leftarrow \frac{y_i + \text{Yc} \cdot \text{Jat}}{1 + \text{Jat}} \end{array} \right.
 \end{array}$$

Рис. 21 Фрагмент блока программы для расчета координат траектории движения

Полученные значения выведем в виде матрицы значений координат:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Xtrack =	0	-8.4	3.1	25.9	53.4	81.2	82	108.2	111.4	99.3	67.3	14	5
	1	13.4	7.1	15.7	32.8	53.4	74.3	74.9	94.5	96.9	87.9	63.9	23.9
	2	26.8	22.6	28.3	39.7	53.4	67.4	67.8	80.9	82.5	76.4	60.4	33.8
	3	40.1	38	40.9	46.6	53.5	60.5	60.6	67.2	68	65	57	43.6

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ytrack =	0	30	68.1	82.7	87.9	82.7	62.7	49.4	30.8	5.5	4	-4	-1
	1	10.4	32.9	61.5	72.4	76.3	72.4	57.4	47.4	33.5	14.5	13.4	7.4
	2	20.8	35.8	54.8	62.1	64.7	62.1	52.1	45.5	36.2	23.5	22.8	18.8
	3	31.2	38.7	48.2	51.9	53.2	51.9	46.9	43.5	38.9	32.6	32.2	30.2

Рис.22 Матрицы координат точек траектории движения

Преобразуем данную матрицу в вид последовательности чисел:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Xtr} := \left| \begin{array}{l} i \leftarrow 2 \\ \text{Xcomb} \leftarrow \text{stack} \left[\left(\text{Xtrack}^T \right)^{\langle 0 \rangle}, \left(\text{Xtrack}^T \right)^{\langle 1 \rangle} \right] \\ \text{while } i < \text{NumTrek} \\ \left| \begin{array}{l} \text{Xcomb} \leftarrow \text{stack} \left[\text{Xcomb}, \left(\text{Xtrack}^T \right)^{\langle i \rangle} \right] \\ i \leftarrow i + 1 \end{array} \right. \\ \text{Xcomb} \end{array} \right. & \text{Ytr} := \left| \begin{array}{l} i \leftarrow 2 \\ \text{Ycomb} \leftarrow \text{stack} \left[\left(\text{Ytrack}^T \right)^{\langle 0 \rangle}, \left(\text{Ytrack}^T \right)^{\langle 1 \rangle} \right] \\ \text{while } i < \text{NumTrek} \\ \left| \begin{array}{l} \text{Ycomb} \leftarrow \text{stack} \left[\text{Ycomb}, \left(\text{Ytrack}^T \right)^{\langle i \rangle} \right] \\ i \leftarrow i + 1 \end{array} \right. \\ \text{Ycomb} \end{array} \right.
 \end{array}$$

Рис. 23 Массивы координат точек траектории движения

Затем, применив алгоритмы интерполяции промежуточных значений (3), получим следующий график:

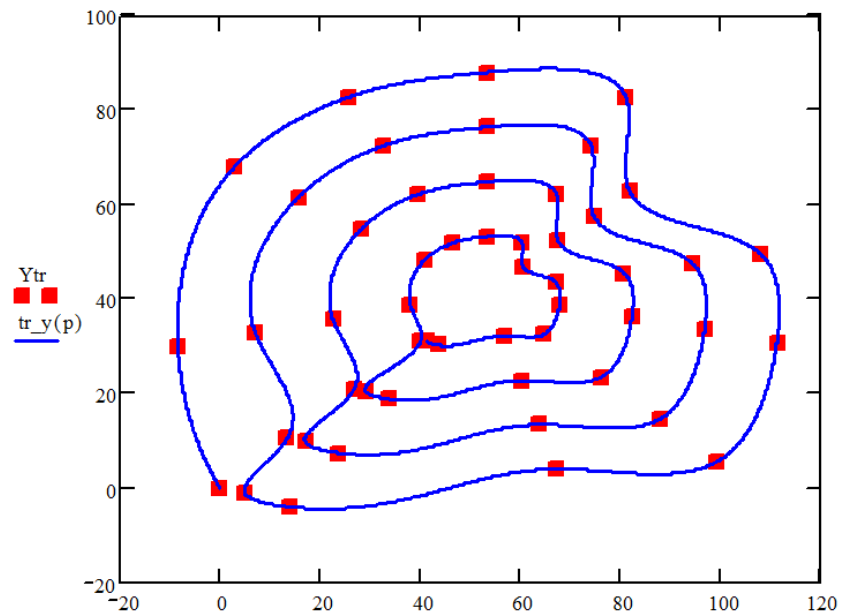


Рис. 24 График с опорными точками траектории движения

Из графика видно, что линии траектории проходят на разном удалении. Т.е. в некоторых случаях платформа будет проходить несколько раз по одному месту.

Оценку производительности можно произвести после сравнения общей площади фигуры поля и площади, которая обработалась бы при движении роботизированной платформы без перекрытия, но с учетом длины пройденного пути. Площадь фигуры найдем по формуле Герона через координаты как сумму площадей треугольников с общей вершиной в центре тяжести фигуры.

$$\text{PloshadFigur} := \sum_{i=1}^k \sqrt{\text{Perimetr}_1 \cdot (\text{Perimetr}_1 - \text{DlinaRadiusa}_{1-1}) \cdot (\text{Perimetr}_1 - \text{DlinaRadiusa}_1) \cdot (\text{Perimetr}_1 - C_1)}$$

$$\text{где } C_f := \sqrt{(x_f - x_{f-1})^2 + (y_f - y_{f-1})^2}$$

$$\text{Perimetr}_f := \frac{\text{DlinaRadiusa}_{f-1} + \text{DlinaRadiusa}_f + C_f}{2} \quad (5)$$

Расчетное значение для заданной фигуры равно:

$$\text{PloshadFigur} = 8.05 \times 10^3$$

Общая пройденная длина пути платформы определится как:

$$\text{SummDlina} := \sum_{i=1}^{r-1} \sqrt{(X_{\text{tr}_i} - X_{\text{tr}_{i-1}})^2 + (Y_{\text{tr}_i} - Y_{\text{tr}_{i-1}})^2} \quad (6)$$

2.4 Схемотехника и описание электронных компонентов

В данной работе была применена система фирмы Marvelmind Robotics, изображенная на рис 25. Эта система включает в себя не менее четырех ультразвуковых маяков, установленных по периметру участка и одного центрального маяка, установленного на движущееся средство. Система позволяет определять координаты робота с точностью до 2 см с площадью покрытия до 1000м²



Рис. 25 Комплект ультразвуковых датчиков Marvelmind Robotics

Управление ходовыми моторами робота осуществляется контроллером Arduino Mega на базе ATmega 2560 и усилительным блоком управления моторами «Dual Motor Drive». **Arduino** – это электронное устройство, состоящее из одной печатной платы, которое способно управлять разными датчиками, электродвигателями, освещением, передавать и принимать данные. Arduino - это целое семейство устройств разных размеров и возможностей [12].

Arduino – это **микроконтроллер** семейства Atmega. Микроконтроллер представляет из себя микропроцессор с памятью и различными периферийными устройствами, реализованный на одной микросхеме. Фактически это однокристальный микрокомпьютер, который способен выполнять относительно простые задачи.

Arduino позволяет подключать к нему различные периферийные устройства. Среди них, например:

- кнопки;
- светодиоды;

микрофоны и динамики;

- электродвигатели и сервоприводы;
- ЖК дисплеи;
- считыватели радиометок (RFID и NFC);
- ультразвуковые и лазерные дальномеры;
- bluetooth, WiFi и Ethernet модули;
- считыватели SD карт;
- GPS и GSM модули. А также десятки различных датчиков.

Для упрощения процесса общения с микроконтроллером разработана специальная программная среда – **Arduino IDE**. В её состав включены десятки примеров хороших, работающих программ.

Что же касается Arduino Mega 2560 (См. Рис. 26), то этом устройстве максимальное из всех плат семейства Arduino количество пинов и расширенный набор интерфейсов. Также у Arduino Mega больше встроенной памяти. Основные характеристики платы приведены в таблице 3.

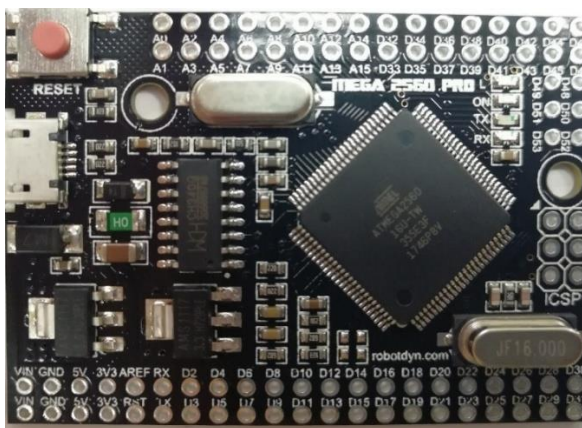


Рис. 26 Arduino Mega 2560

Таблица 3 Характеристики Arduino Mega 2560

Микроконтроллер	ATmega2560
Рабочее напряжение	5В
Аналоговые входы	16
Напряжение питания (рекомендуемое)	7-12В
Напряжение питания (предельное)	6-20В
Цифровые входы/выходы	54 (из которых 15 могут использоваться в качестве ШИМ-выходов)
Максимальный ток одного вывода	40 мА
Максимальный выходной ток вывода 3.3V	50 мА
Flash-память	256 КБ из которых 8 КБ используются загрузчиком
SRAM	8 КБ
EEPROM	4 КБ
Тактовая частота	16 МГц

Блок управления мотор-редукторами движения платформы «Dual Motor Drive» (См. Рис. 27) принимает логические команды от контроллера и преобразует выходные маломощные сигналы дискретной логики в усиленные сигналы, достаточные для управления двумя четырьмя мотор-редукторами платформы.



Рис. 27 Dual Motor Drive

С целью обеспечения стабильной связи между роботом и базовым компьютером на расстоянии до одного километра, связь робота с управляющим компьютером выполнена через радио модули NRF24L01 с усилителем радиоканала на частоте 2.4 ГГц. К компьютеру, на котором установлен блок принятия решений через COM порты, реализованные USB разъем подключены радио-модем Marvelmind Robotics и радио модуль NRF24L01, соединенный с компьютером через контроллер Arduino Mini. Маяки, по команде радио-модема, обмениваются ультразвуковыми сигналами (См. Рис. 28). Время отправки и время приема ультразвуковых меток фиксируется, рассчитывается расстояние между маяками, в результате управляющим компьютером формируются данные о геометрии участка и положении робота на участке.

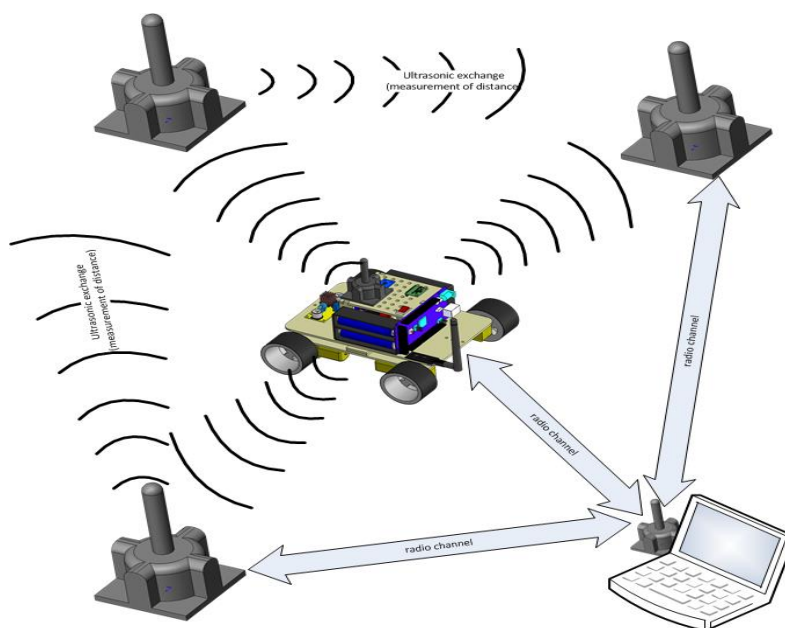


Рис. 28 Схема взаимодействия датчиков системы позиционирования

С помощью специальной программы, написанной для разработанного комплекса управления вся полученная информация и координаты робота фиксируются. Затем определяется вектор, который задает траекторию движения.

Требования к управляющему компьютеру: наличие как минимум двух USB-портов для подключения радиомодема NRF24L01; возможность подключения графического дисплея с разрешением не ниже 800x600 точек; установленная система Windows не ниже XP или Linux.

В данном проекте в качестве управляющего компьютера применен микрокомпьютер Raspberry Pi3 (См. Рис. 29), так как он минимально соответствует предъявляемым требованиям и имеет небольшую стоимость.

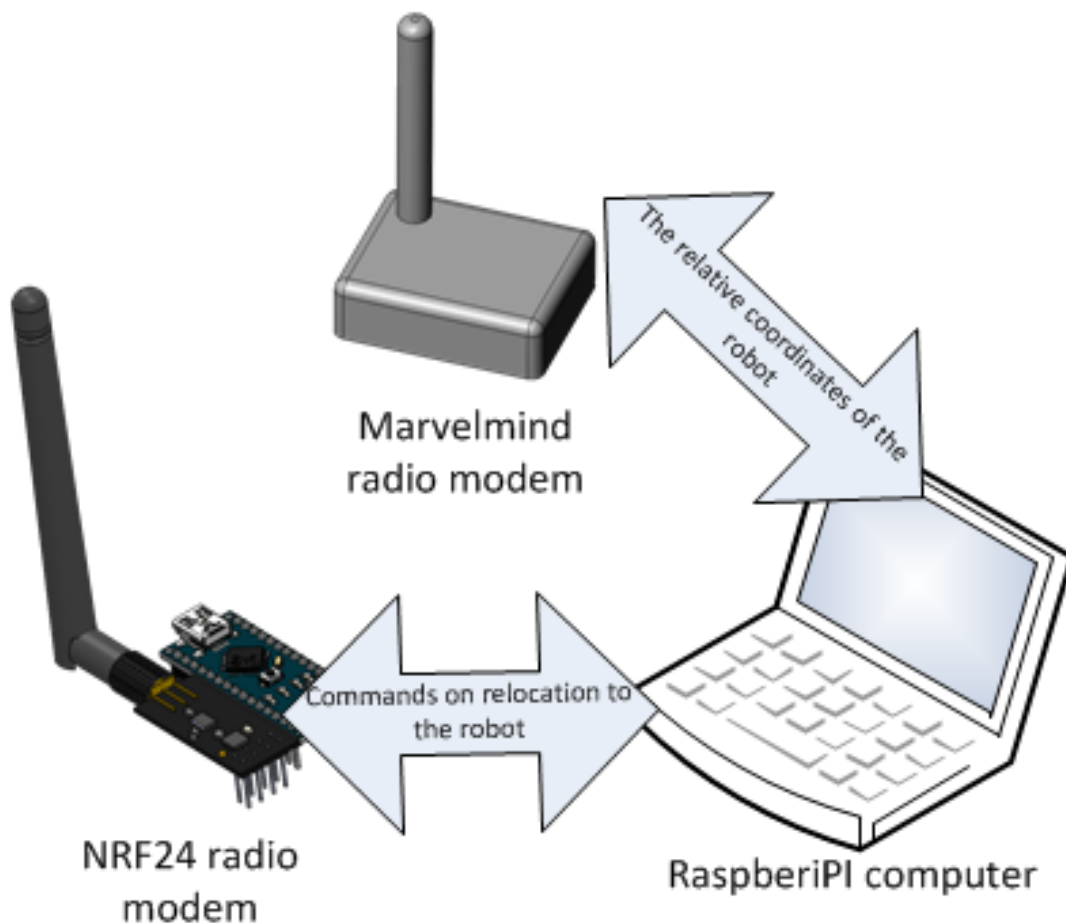


Рис. 29 Набор передатчиков для управления газонокосилкой

Для корректировки текущего направления робот также оснащен электронным гироскопом, акселерометром и электронным компасом, которые размещены в микросхеме модуля MPU6050 от RobotClass (См. Рис. 30). Эти приборы позволяют сохранять прямолинейное направление движения робота в

случае проскальзывания ведущих колес с грунтом или несоответствия скоростей вращения колес [13].

Характеристики модуля MPU6050 ROC:

- напряжение питания: от 3,5 до 6 В;
- потребляемый ток: 500 мкА;
- ток в режиме пониженного потребления: 10 мкА при 1,25 Гц, 20 мкА при 5 Гц, 60 мкА при 20 Гц, 110 мкА при 40 Гц;
- диапазон: $\pm 2, 4, 8, 16g$;
- разрядность АЦП: 16;
- интерфейс: I2C (до 400 кГц).

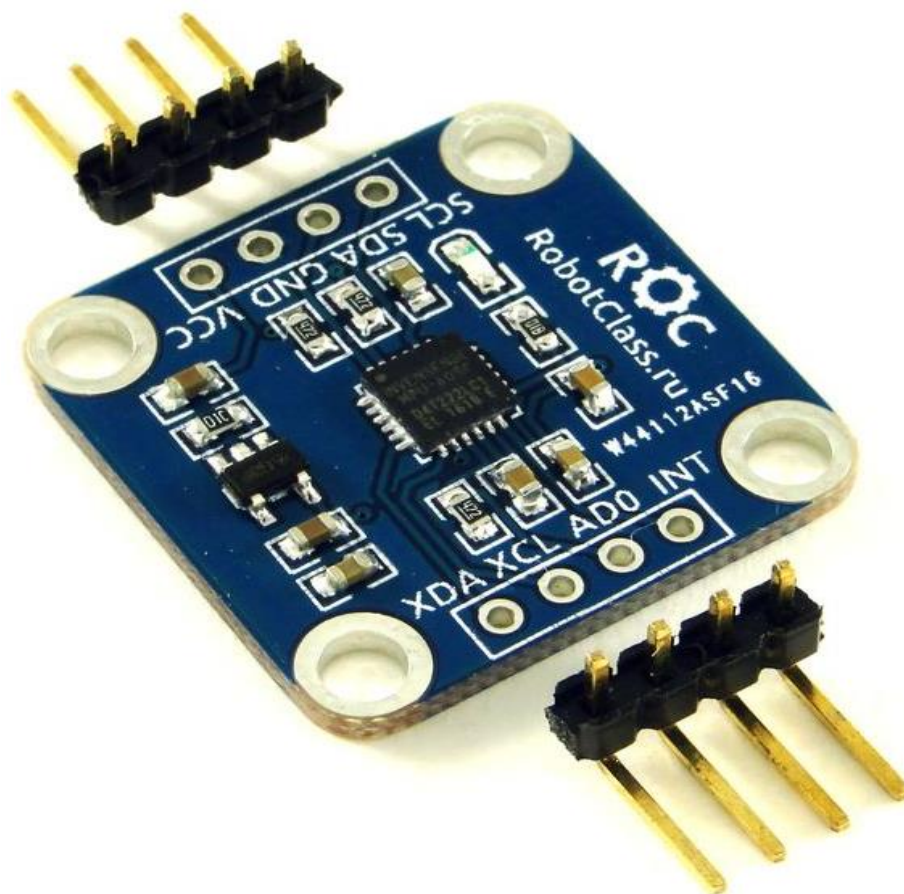


Рис.30 Модуль MPU6050

С целью предотвращения столкновения с возможными преградами на обрабатываемой площади робот оснащен ультразвуковыми сенсорами (См. Рис. 31).

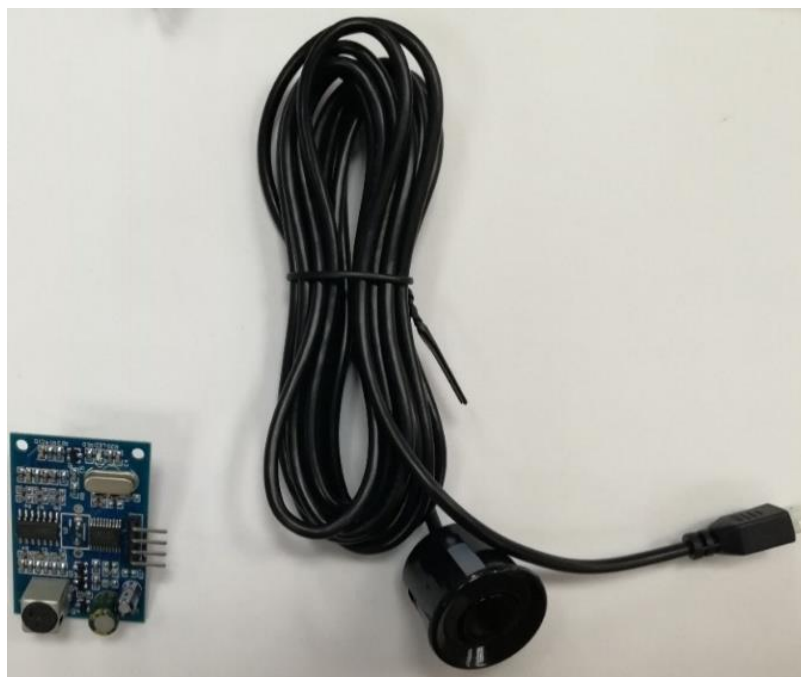


Рис. 31 Ультразвуковой сонар

Конструктивно ультразвуковой сонар представляет собой ультразвуковой радар, датчики которого являются одновременно излучателями и приемниками. От количества датчиков зависит точность и чувствительность системы. Одна часть датчика испускает ультразвуковой сигнал, вторая часть - улавливает отраженный от предмета сигнал и разницу во времени передает на головной прибор. По разнице между выпущенным и принятым сигналом и определяется расстояние до объекта.

Информация от этих датчиков также передается на управляющий компьютер и служит для корректировки вектора движения с целью объезда препятствий.

Технические спецификации и особенности сонара:

- Измерение расстояния в диапазоне от 10 до 400 см
- Точность измерения до +/- 1 см
- Если ультразвуковой сигнал распознан, датчик возвращает логическое значение «Истина»
- Автоматическая идентификация производится программным обеспечением микрокомпьютера EV3
- Напряжение питания: 5 В.

- Потребление в режиме тишины: 2 мА
- Потребление при работе: 15 мА
- Максимальная частота опроса датчика: 20 Гц (Период опроса 50 мс)
- Частота ультразвука: 40 кГц
- Дальность обзора: 2 см – 4 м
- Разрешение (градация выходного сигнала): 0,3 см
- Эффективный угол наблюдения: 15°
- Рабочий угол наблюдения: 30°
- вес — 8,28 грамм
- Размеры: 45*20*15 мм. ДхШхГ (Ш — без учета контактов подключения)

Для отслеживания работы самоходной автоматизированной платформы на нее была установлен передатчик TS83, который служит для передачи видео сигнала с камеры (См. Рис. 32). Он работает на частоте 5.8Ghz с возможностью выбора одного из 32 каналов. Данный частотный диапазон (5645 - 5880 Mhz) позволяет получать видеосвязь хорошего качества и разрешения. На передатчике есть цифровой индикатор выбранного канала.



Рис. 32 Передатчик TS832

Мощность передатчика TS832 составляет величину 600 mW, что позволяет получить уверенный прием сигнала на расстоянии до 1500 - 2000

метров с качественными антеннами. Вес передатчика TS832, несмотря на большую величину излучаемой мощности, всего 21 грамм.

Особенности:

- 32 канала: диапазоны А, В, Е и F.
- Две кнопки для переключения диапазона и канала.
- Отображение 2-х цифр для диапазона и канала.
- Вывод 2-х независимых сигналов: аудио и видео.

Характеристики:

- Входное напряжение: 7,4-16 В (3S Lipo / ~ 12 В)
- Выходное напряжение: соответствует входному напряжению
- Мощность передатчика: 600 мВт
- Антенна: 2 дБ
- Рабочий ток: 220 мА при 12 В
- Ширина канала под видео – 8 МГц
- Ширина канала под аудио - 6,5 МГц
- Вес: 21 гр.
- Размеры: 54x32x10 мм (без антенны)
- Поддерживаемые форматы видео: NTSC / PAL
- Антенна: SMA

Чтобы вывести изображение с камеры на экран смартфона, был приобретен приемник видеосигнала USV 5.8G 150CH. С его помощью возможно наблюдать за действиями робота удаленно. Приемник работает на частоте 5.8Ghz с возможностью выбора одного из 32 каналов.

3 Конструкторская часть

3.1 Описание конструкции.

Роботизированный комплекс разрабатывался в учебной версии SolidWorks. С использованием функционала CAD системы произведено конструирование роботизированной платформы. Создавались детали конструкции, комплектовалась узловая и общая сборка машины, с использованием анимационной настройки осуществлялось моделирование основных движений робота.

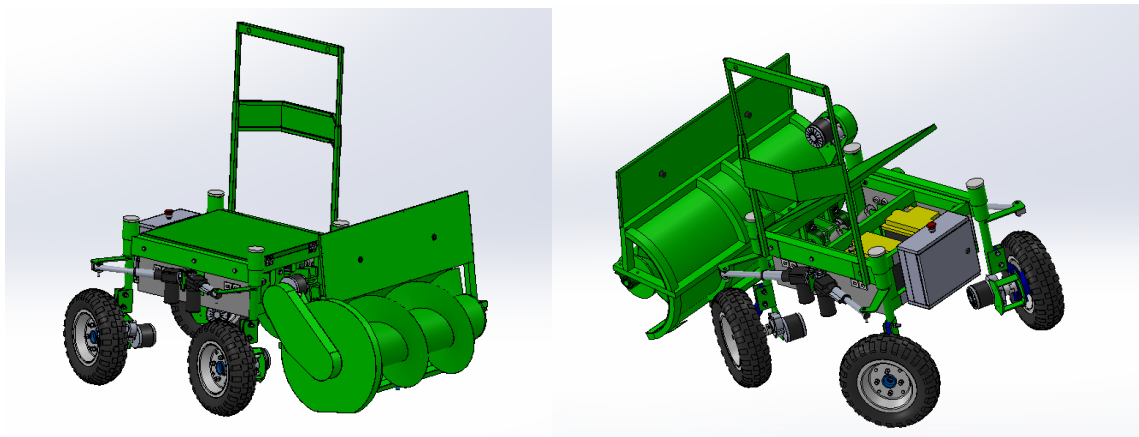


Рис. 33 Общий вид Роботизированной платформы

Робот-толкатель представляет собой самоходную платформу, шнекоротор, выносной элемент со специальными датчиками и контактными планками для зарядки.

На колесной балке расположены два линейных привода, которые с одной стороны закреплены на опорных подшипниках, а с другой стороны на рычаге стойки. Над стойкой установлены датчики обратной связи, которые закреплены на резьбовом стержне. Рама платформы располагается между колесными балками и выполнена из профиля.

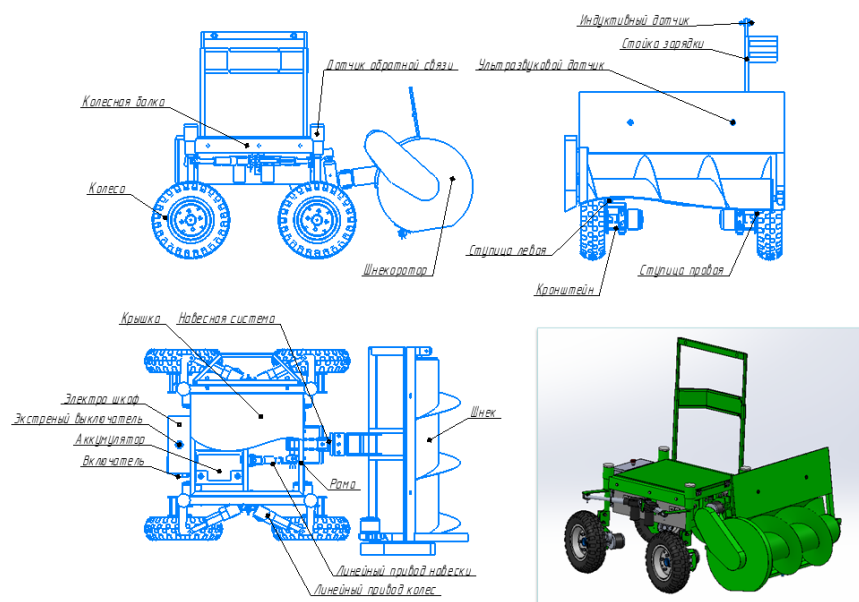


Рис.34 Чертеж общего вида

Вся электроника платформы запитана от двух аккумуляторов напряжением 24В и энергоемкостью 60А*ч (См. Рис.36). Аккумулятор с гелевым электролитом позволяет производить около 300 циклов глубокого разряда. Пополнение заряда производится от специального зарядного устройства.

Навесная система, состоит из двух рычагов, закрепленных на общей оси через блоки подшипников. Расстояния между отверстиями сцепки соответствуют размерам мотокультиватора «Нева». Два линейных привода, работающих синхронно, позволяют поднимать груз на сцепке до 80 кг. Подвижные вертикальные пластины, закрепленные за линейные приводы, позволяют обеспечить плавающий режим работы с шнекоротором. Шнекоротор (См. Рис.35) состоит из рамной конструкции (См Рис.) и основной центральной частью шнека (См. Рис.)

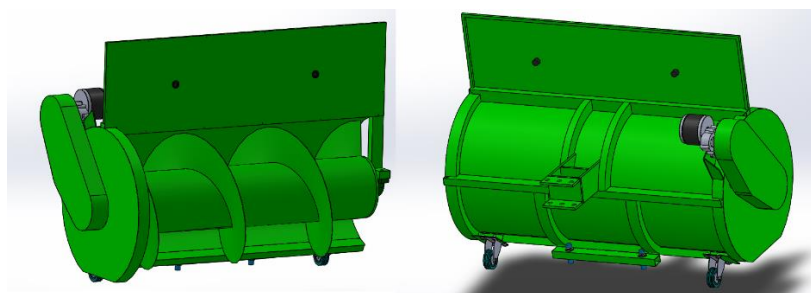


Рис. 35 Шнековой мобильный конвейер

3.2 Тяговый баланс агрегата

При конструировании движущейся техники одним из основных параметров является мощность, которая должна быть обеспечена на приводе колес. С учетом веса агрегата, условий сцепления с колесами и рельеф местности. Основная методика расчета сводится к определению тягового баланса. Она подробно описана в литературе для расчета сельскохозяйственной техники [15].

Большинство практических расчетов по определению состава и работе агрегатов проводится с применением опытных данных, полученных при установившемся движении, когда $dV / dt = 0$ и скорость $V = const$. В этом случае:

$$P_{\text{дв}} = \sum P_C + R_M \quad (1)$$

Сумма сил сопротивления $\sum P_C$ состоит из силы сопротивления качению агрегата P_f , сопротивления при движении агрегата на подъем (спуск) $\pm P_a$ и лобового сопротивления воздушной среды P_w , т.е.:

$$\sum P_C = P_f \pm P_a + P_w.$$

Подставляя это выражение в уравнение (1), получим:

$$P_{\text{дв}} = P_f \pm P_a + P_w + R_M.$$

При скоростях движения современных МТА сопротивлением воздушной среды можно пренебречь ($P_w = 0$), тогда в окончательном виде:

$$P_{\text{дв}} = P_f \pm P_a + R_M \quad (2)$$

Уравнение (2) является уравнением тягового баланса агрегата при его установившемся движении, и из него следует, что движущей силой агрегата преодолеваются силы сопротивления движению газонокосилки и сопротивление машины.

В практических расчетах силу P_f принимают пропорциональной весу агрегата. При движении по горизонтальной поверхности:

$$P_f = f_f G_f$$

где G_f - коэффициент пропорциональности.

$$\text{Отсюда } P_f = 0.1 \cdot 1200 = 1.2 \text{ Н}$$

В теории трактора его называют коэффициентом сопротивления качению и численные значения приводят в справочных данных, которые зависят от типа и состояния почвы.

Составляющие сопротивления движению трактора P_f и $\pm P_a$ при установившемся движении на подъем с углом склона α определяется в соответствии со схемой (См. Рис. 36).

Сила сопротивления качению агрегата при движении на подъем:

$$P_f = f_T G_T \cos \alpha .$$

Сила сопротивления движению агрегата на подъем:

$$P_a = \pm G_\tau \sin \alpha \quad (3)$$

С учетом принятых на рис. 37 обозначений отношение $h/l = \operatorname{tg} \alpha = i$ которое при расчетах представляют либо дробным числом, либо в процентах, называют подъемом (спуском) рабочего участка поля.

Учитывая, что углы подъема (спуска) в условиях дачных участков не превышают $\alpha = 25^\circ$, а при этих значениях то уравнение (3) можно записать в виде:

$$P_a = \pm G_\tau \operatorname{tg} \alpha \approx \pm G_\tau i \approx \pm G_\tau \frac{i}{100} .$$

В окончательном виде уравнение тягового баланса агрегата при движении на подъем (спуск) примет вид

Отсюда находим:

$$P_{ог} = (f_\tau G_\tau \cos \alpha \pm G_\tau \frac{i}{100}) + R_M$$

$$P_{ог} = (0.1 \cdot 1500 \cdot \cos 25^\circ \pm 1500 \cdot \frac{\operatorname{tg} 25^\circ}{100}) + 3 = 142.9 \text{ Н} .$$

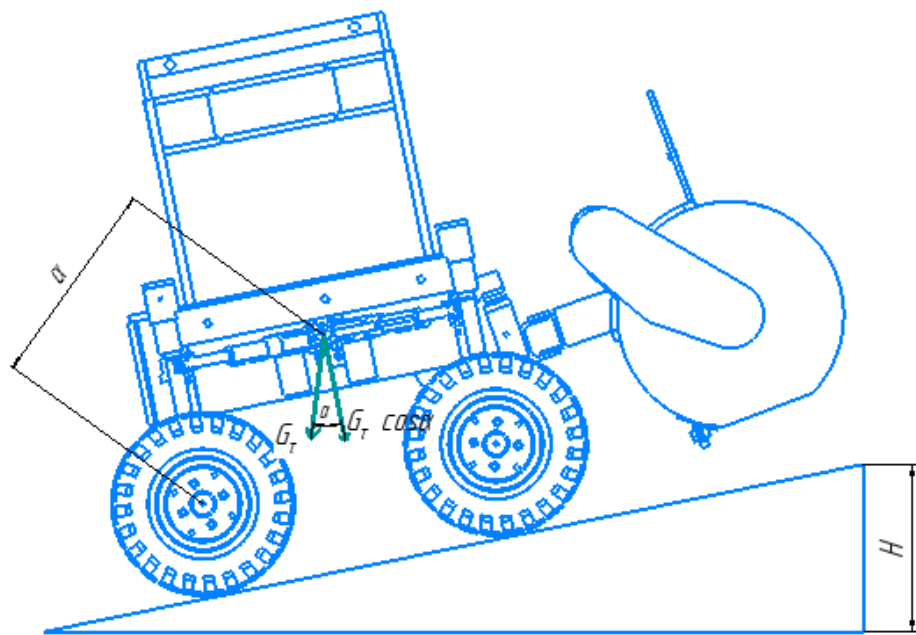


Рис.36 К расчету сил сопротивления при движении роботизированной платформы на подъем.

3.3 Движущая сила МТА

Из уравнения тягового баланса агрегата следует, что основная величина в нем – движущая сила, источником которой является мотор агрегата. В двигателе электроэнергия преобразуется в механическую и снимается в виде крутящего момента M_e .

Крутящие моменты M_e и M_k являются внутренними силовыми факторами и не могут вызвать движения агрегата, тогда как возникновение движущей силы должно быть обусловлено внешним силовым фактором.

Рассмотрим механизм ее возникновения на ведущем колесе агрегата (См. Рис. 37). При этом принимаем следующие допущения:

- радиус колеса равен радиусу качения r_k ;
- опорная поверхность является жесткой, т.е. качение происходит без образования следа от прохода колеса.

На колесо действуют часть веса агрегата $G_{сц}$, называемая сцепным весом, и вертикальная реакция почвы R .

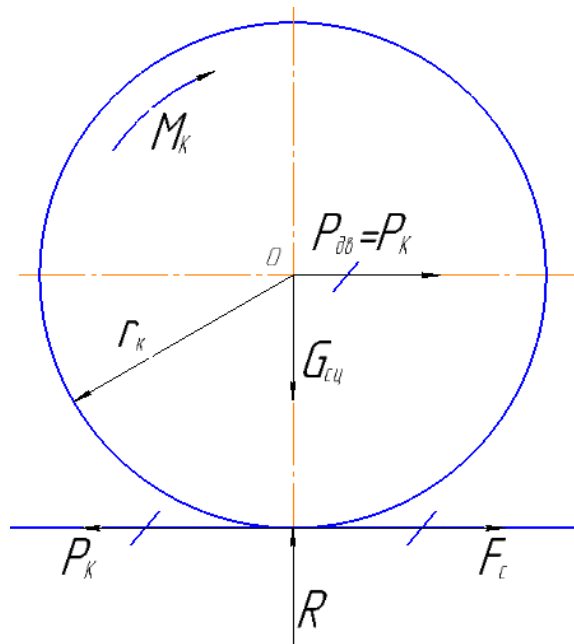


Рис. 37 Схема сил, действующих на ведущее колесо

Крутящий момент M_K ведущего колеса можно заменить парой сил с плечом действия r_k , т.е.: $M_K = P_K r_K$.

Силу P_K , действующую на плечо r_k , принято называть касательной силой тяги колеса. Приложенная к колесу сила P_K за счет трения и сцепления в контакте с опорной поверхностью уравновешивается равной ей по величине, но противоположно направленной равнодействующей реакции почвы F_c .

Таким образом, $P_K = F_c$. Но сила P_K является внутренней, а сила F_c внешней по отношению к агрегату, которая способна вызвать движение.

Из схемы следует, что сила $P_K = F_c = P_{дв}$, приложенная в центре колеса и направленная в сторону движения, и является движущей силой. Таким образом, движущей силой роботизированной платформы является внешняя сила, приложенная к оси ведущего колеса, направленная в сторону движения, источником которой является работа электродвигателя и наличие сцепления ведущих колес ходового аппарата с почвой.

Найдем радиальную силу на ведущих колесах агрегата. На каждое ведущее колесо идет отдельный электромотор, а так как эти моторы одинаковы, рассчитаем радиальную силу на одном колесе по формуле:

$F = M / R$, где M – крутящий момент на колесе кгс/см; R – радиус колеса, см.

$M = P \cdot 9600 / n$, где P – мощность двигателя, кВт; n – кол-во оборотов, об/мин. $M = P \cdot 9600 / n = 1 \cdot 9600 / 75 = 128$ кгс/см

Итак, радиальная сила на колесе:

$$F = 128 / 20 = 6.4 \text{ кгс} = 63 \text{ Н}.$$

Силы в 50Н вполне достаточно для движения роботизированной самоходной платформы на подъёмы до 25 градусов. По ровной горизонтальной же поверхности агрегат развивает скорость порядка 1 м/с, что составляет около 5 км/ч, что вполне сопоставимо с аналогичными роботизированными платформами зарубежного производства.

3.4 Крутящий момент колеса

Крутящий момент мотора - это сила, с которой он воздействует на вращаемую ось. Для того, чтобы робот мог двигаться, необходимо, чтобы эта сила превышала вес робота (выражаемый в Н/м).

Некоторые употребляют вместо понятия крутящий момент, термин вращающий момент. По сути это одно и то же. И то и другое являются моментами, просто в технике крутящий момент — это нагрузка на колесе, а вращающий момент — нагрузка в технической науке под названием «Сопротивление материалов».

Рассмотрим сильно упрощенную идеализированную модель колесного робота.

При движении по прямой на расстояние 1м, рассчитаем ускорение, необходимое для достижения скорости в 1м/с.

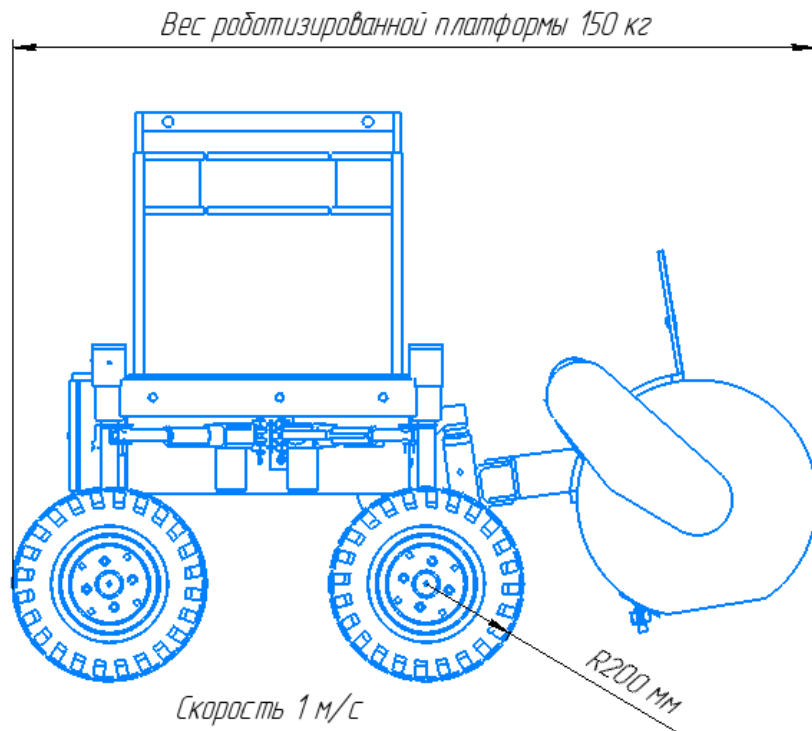


Рис.38 Роботизированная платформа

При движении по прямой на расстояние 1м, рассчитаем ускорение, необходимое для достижения скорости в 1м/с. $v^2 = v_0^2 + 2ad$

где d — расстояние, пройденное роботом, $v_0 =$ — его начальная скорость (стартуем с места, поэтому, $v_0 = 0$, $a = \frac{v^2 - v_0^2}{2d}$

где v — скорость робота, a -его ускорение.

Подставим значения, принятые в нашей модели, получим

$$a = \frac{1^2 - 0^2}{2d} = 0.5 \text{ м / с}$$

Вращающий момент, который необходим для перемещения робота и получения им ускорения, необходимого для достижения максимальной скорости рассчитывается следующим образом: $M = Ja$

При $J = \frac{mgr^2}{2}$ — момент инерции и $a = \frac{a}{r}$ угловое ускорение, получим

$$M = \frac{mgra}{2};$$

Здесь $g = 9.81 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения, r — радиус колеса, m — масса всего робота

Подставив значения, получим

$$M = \frac{150 \cdot 9.8 \cdot 0.2 \cdot 0.5}{2} = 73500 \text{ мН} \cdot \text{м}$$

Для перевода величины, выраженной в Н·м в кг*см нужно учесть, что 1 Н = 0.102 кг и 1 м = 100 см. Поэтому $73500 \text{ мН} \cdot \text{м} = 750 \text{ кг} \cdot \text{см}$.

Для расчета максимальной скорости мотора нам понадобится частота вращения, которая выражается в оборотах в минуту

$$v = \frac{\pi d \cdot n}{1000} = \frac{3.14 \cdot 400 \cdot 75}{1000} = 94,2 \text{ м/мин} = \frac{94,2}{1000} \cdot 60 = 5,7 \text{ км/ч}$$

3.5 Детализация шнекоротора

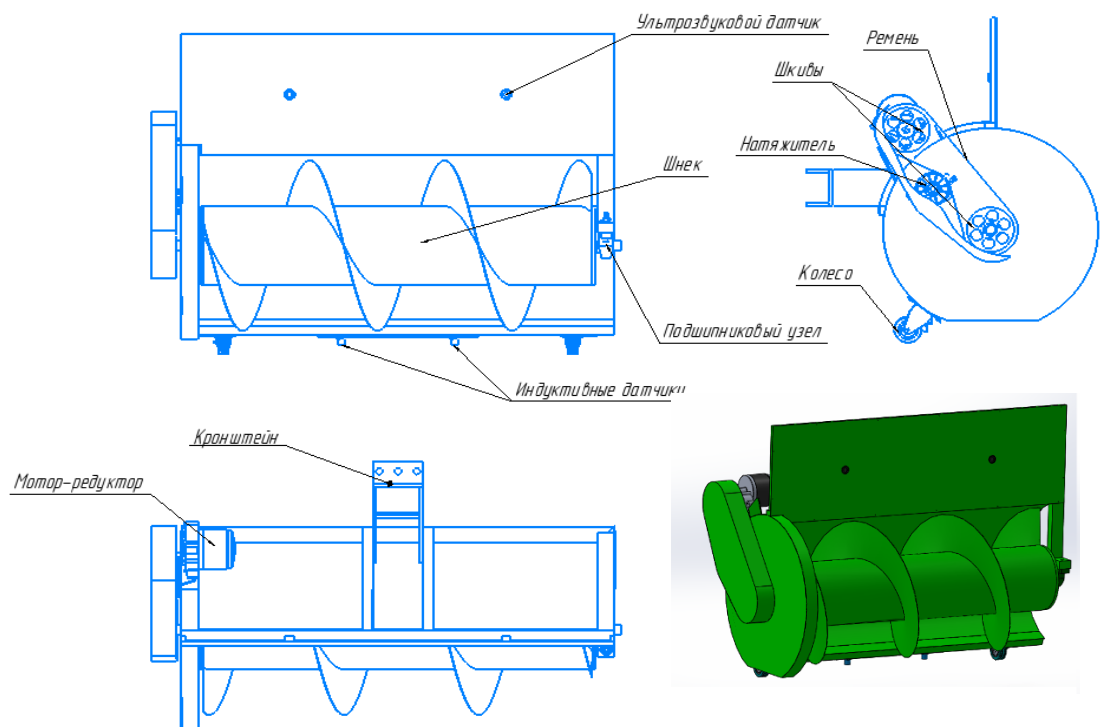


Рис. 39 Общий вид шнекоротора

Шнековой мобильный конвейер предназначен для горизонтального транспортирования сыпучих и мелкокусковых материалов. Перемещение транспортируемого груза, осуществляется основным рабочим органом – винтом, состоящим из вала с укрепленным на нём винтовой спиралью или лопастями. Привод винта осуществляется от электродвигателя через ременную передачу. Электродвигатель предназначен для получения на рабочем валу необходимой частоты вращения и увеличения крутящего момента.

3.5.1 Корпус шнекоротора

Рама шнекоротора выполнена из профильной трубы 40 на 25. Профильная труба представляет собой сварную конструкцию. Имеется прямолинейные трубы и трубы, загнутые по радиусу 265. Также есть кронштейн для крепления навесной подъёмной системы роботизированной платформе

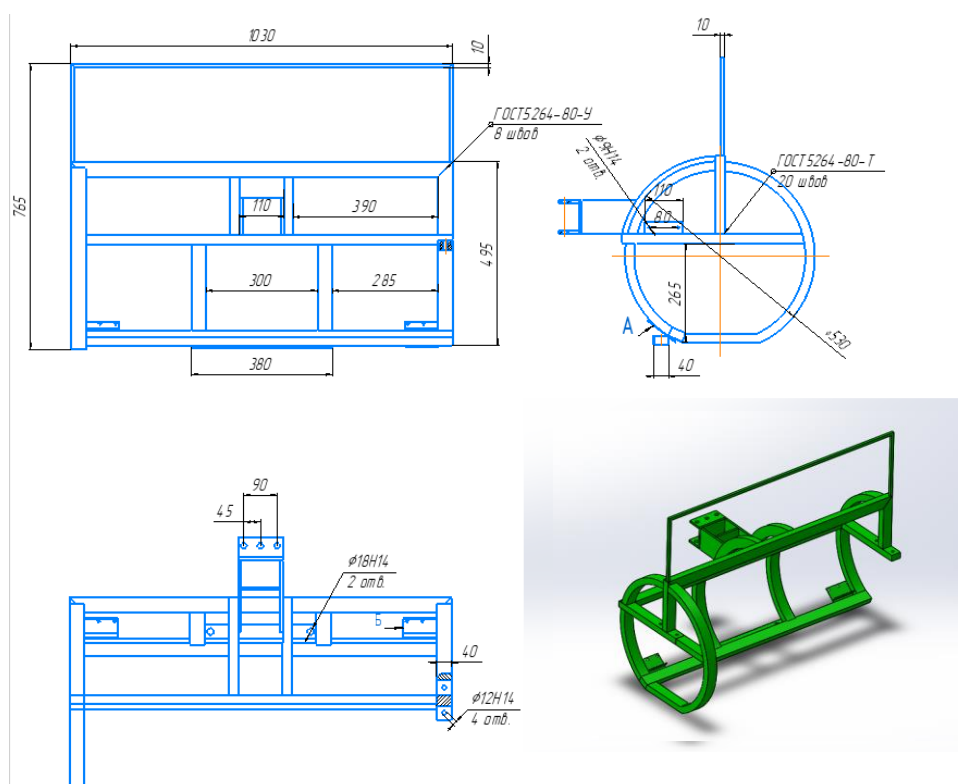


Рис. 40 Корпус шнекоротора

3.5.2 Шнек

Шнек навесной системы толкателя имеет три витка. Каждый виток шнека должен быть изготовлен отдельно. Для этого необходимо произвести раскрой с учетом шага, количества витков и диаметра трубы, на которую устанавливается шнековая лента.

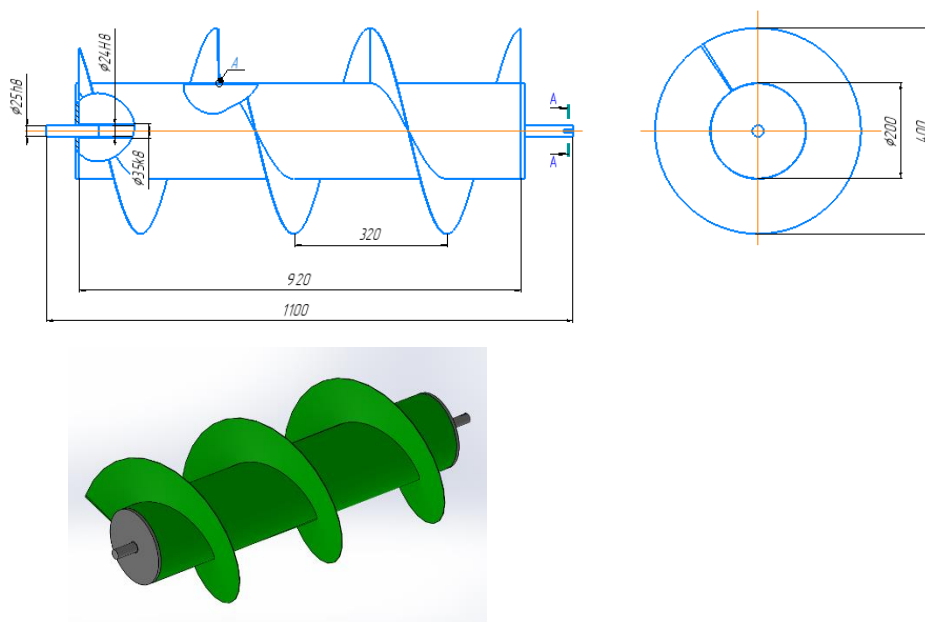


Рис. 41 Шнек

Шнек представлен прямой осевой трубой, на которой по спирали расположена захватывающая пластина. При изготовлении важно придать изделию максимально приближенную балансировку. В противном случае при эксплуатации может возникать вибрация, шум и многие другие проблемы. Серьезные дефекты становятся причиной износа детали. В большинстве случаев производство шнека проводится на токарном оборудовании. Высокая точность изделия повышает эксплуатационные свойства механизма. Процедура производства предусматривает вытяжку витков. В подобном случае нужно исключить вероятность допущения следующих ошибок:

1. Нужно точно рассчитывать величины шага.

2. Конечное расположение концов должно выбираться с учетом осевой линии вала.

При изготовлении применяется металл, который характеризуется повышенной устойчивостью к воздействию окружающей среды. Примером можно назвать нержавеющую сталь, на которой не появляется коррозия при длительной эксплуатации при повышенной влажности.

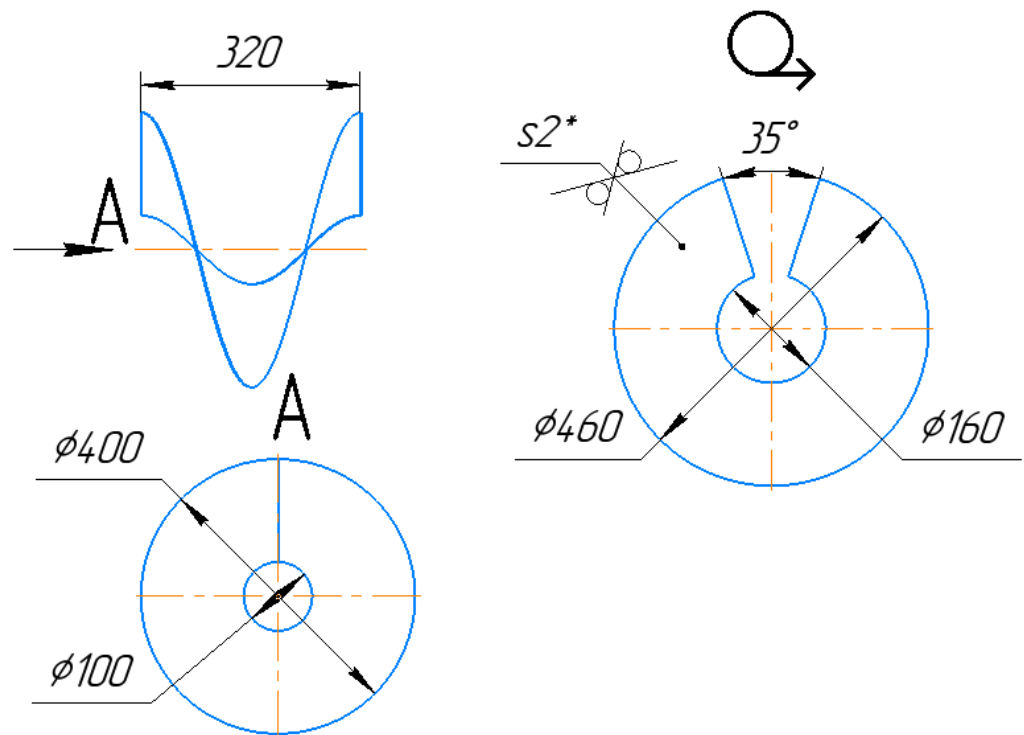


Рис.42 Перо шнека

Основные параметры и размеры шнека (См. Рис. 41 и Рис.42):

- Число заходов винта – 1;
- Направление шнека левозаходное.

Диаметр и шаг винта должны соответствовать значениям указанным в таблице 4.

Таблица 4. - ГОСТ 2037-82. Конвейеры винтовые стационарные общего назначения. Общие технические условия.

Диаметр винта D	100	125	160	200	250	320	400	500	650	800
Шаг винта	80	100	125	160	200	250	320	400	500	650
	100	125	160	200	250	320	400	500	650	800

3.5.3 Индуктивный Датчик

Бесконтактный датчик, назначенный для контроля положения объектов из металла (к другим материалам не чувствителен). Принцип действия образован на изменении амплитуды колебаний генератора при внесении в активную зону датчика металлического, магнитного, ферро-магнитного или аморфного материала определенных размеров. При подаче питания на конечный выключатель в области его чувствительной поверхности образуется изменяющееся магнитное поле, наводящее во внесенном в зону материале вихревые токи, которые приводят к изменению амплитуды колебаний генератора. В результате вырабатывается аналоговый выходной сигнал, величина которого изменяется от расстояния между датчиком и контролируемым предметом.

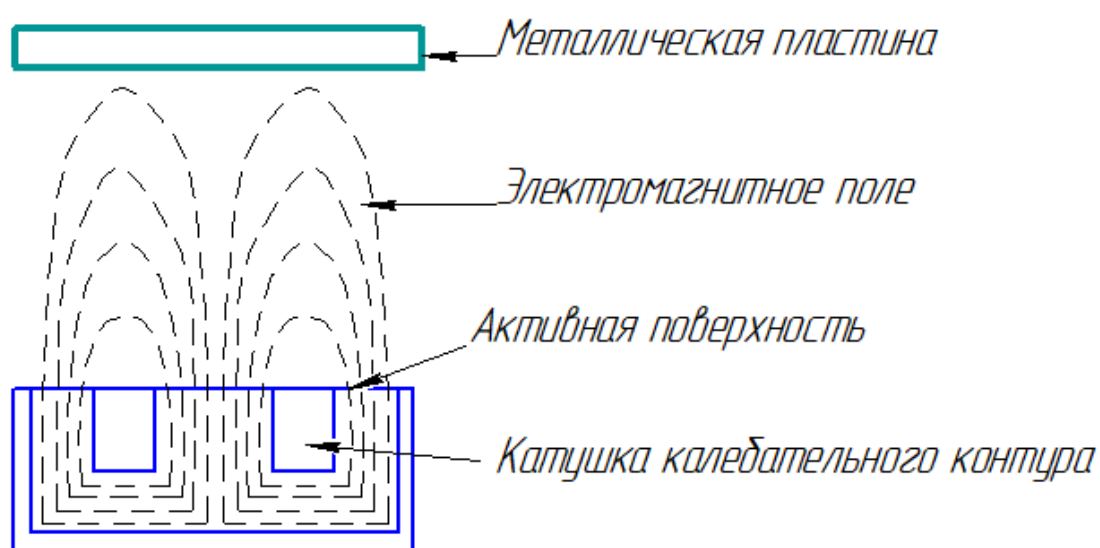


Рис. 43 Схема работы индуктивного датчика

3.5.4 Ультразвуковой датчик

Принцип действия ультразвукового датчика аналогичен работе радара, они улавливают цель по отраженному сигналу. Скорость звука – величина постоянная. На основании этого таким датчиком вычисляется расстояние до некоторого объекта, соответствующее диапазону времени между выходом сигнала и его возвращением.

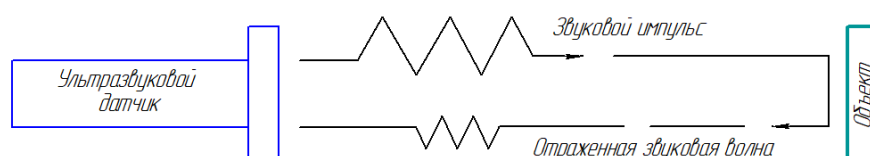


Рис. 44 Схема работы ультразвукового датчика

Ультразвуковые датчики совершенно подавляют фоновые шумы, так как расстояние до объекта определяется с помощью измерения времени полета звуковой волны, а не её интенсивности. Почти все материалы, отражающие звук, могут применяться в качестве объектов обнаружения, независимо от их цвета. Даже прозрачные материалы и тонкие пленки не представляют проблемы для ультразвуковых датчиков. Ультразвуковые датчики могут определять цели на расстоянии от 30 мм до 8 м, при этом производя измерения с очень высокой точностью. Некоторые модели датчиков способны выполнять измерения с точностью до 0,18 мм. Ультразвуковые датчики могут видеть через запыленный воздух, туман или частицы тонера. Даже небольшой налет на мембране сенсора не влияет на его работу. Слепая зона датчика составляет всего 20 мм, а плотность излучаемого потока очень мала.

3.5.5 Мотор-редуктор

Для обеспечения требуемых характеристик лучше использовать мотор-редуктор с запасом по мощности, как минимум в два раза.



Рис.45 Мотор-редуктор

Исходя из расчетов, выбираем мотор 24В постоянного тока, щеточное исполнение, выдающий 75об/м

3.5.6 Ремень привода шнекоротора

Предназначен для передачи крутящего момента от электродвигателя к шнекоротору.



Рис. 46 Ремень привода шнекоротора

3.6 Расчет зубчато-ременной передачи

Число зубьев z_2 шкива равно

$z_2 = u \cdot z_1 = 1 \cdot 42 = 42$, где u — передаточное число.

Диаметры шкивов:

$$d_1 = d_2 = 60$$

Межосевое расстояние a предварительно принимают

$$a = 320$$

Число зубьев z_p ремня

$z_p = 111$ полученное число зубьев округляют до ближайшего стандартного значения из ряда: 40; 45; 50; 56; 63; 71; 80; 90; 100; 112 и т. д. до 250.

Шаг зубьев ремня мм:

$$t_p = 9,42$$

Окончательная расчетная длина ремня

$$L_p = \pi m z_p = 3.14 \cdot 3 \cdot 112 = 1055 \text{ мм}$$

Модуль ремня берем из таблицы 5 Принимаем $m=3$

Параметры	Модуль ремня, мм							
	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	7,0	10,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Шаг зубьев ремня t_p , мм	3,14	4,71	6,28	9,42	12,57	15,71	21,99	31,42
Высота зуба ремня h , мм	0,8	1,2	1,5	2,0	2,5	3,5	6,0	9,0
Толщина ремня H , мм	1,6	2,2	3,0	4,0	5,0	6,5	11,0	15,0
Наименьшая толщина зуба s , мм	1,0	1,5	1,8	3,2	4,4	5,0	8,0	12,0

Таблица 5 Основные параметры ремня с трапецидальным профилем

Ремень взяли от автомобиля Ваз 2109, число зубьев 111 и ширина ремня 19 мм

Так как диаметры шкивов одинаковые, число зубьев ремня в пределах угла обхвата с ведущим шкивом равно $\alpha_1 = \alpha_2 = 180^\circ$, где α_{1-2} — угол обхвата шкива

Определяем числа зубьев ремня, находящихся в зацеплении с ведущим и ведомым шкивами:

$$z_{1_3} = z_{2_3} = \frac{z_1 \cdot \alpha_1}{360} = \frac{42 \cdot 180}{360} = 21$$

3.7 Подбор линейных приводов поворота колес.

Так как ступица вынесена от оси вращения, то при повороте колеса требуется приложить крутящий момент на рычаге. Считаем, что для поворота робота на одно колесо приходится четверть всей массы. Вес робота составляет 120кг. На колесной балке закреплен линейный привод один конец которого соединён с рычагом на стойке, длина рычага составляет 165мм. Поэтому, одному колесу для разворота требуется момент 49,5Н*м. При выдвижении рычага за счет поворота центральной стойки уменьшается величина нормали при этом увеличивается нагрузка на линейный привод увеличивается до 210Н*м. Для определения усилия на линейном приводе рассмотрим проекции векторов в двух положениях сила определится через значения углов

$$\alpha = \arcsin(0.2 / 0.21) = 71$$

$$\beta = 90 - 71 = 19$$

$$p = F / \cos \beta = 31.9 \text{ кг}$$

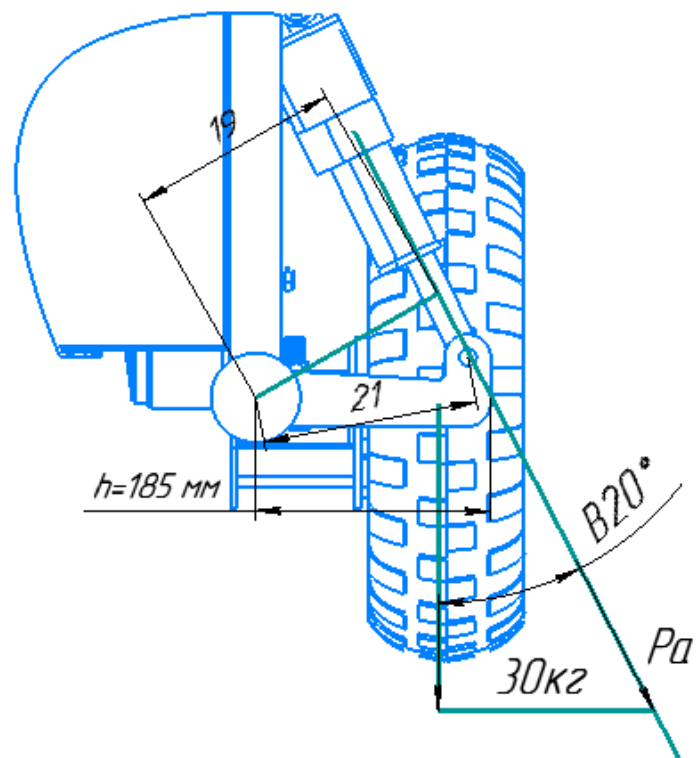


Рис.47 Расчетная схема прямого расположения колес

$$\alpha = \arcsin(0.14/0.21) = 40$$

$$\beta = 90 - 40 = 50$$

$$p = 30 / \cos(60) = 50 \text{ кгс}$$

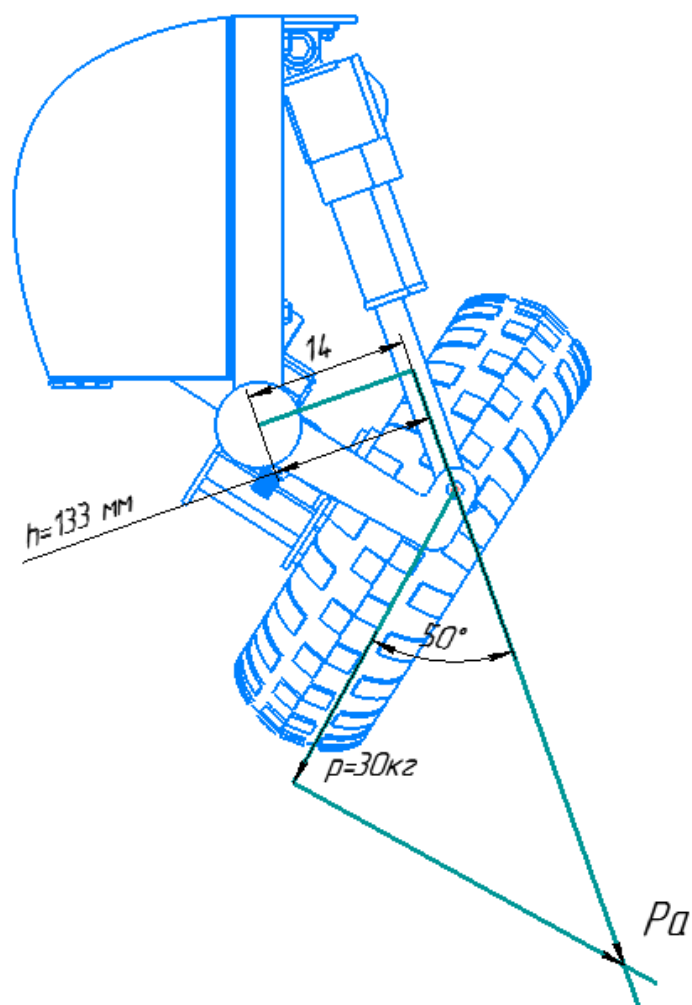


Рис .48 Расчетная схема для повернутого положения колес

Подбираем ближайший по усилию линейный привод, который соответствует характеристикам по скорости перемещения штока.

4 Концепция стартап-проекта

Целью проекта является вывод продукта роботизированной самоходной платформы на рынок автоматизированных животноводческих комплексов.

Задача – разработать маркетинговый план продвижения данной разработки среди потенциальных потребителей на российском рынке.

4.1 Основные качества продукта, решаемая продуктом проблема

Конечный продукт представляет собой роботизированную самоходную платформу, предназначенную для подталкивания кормов на кормовой стол животных, находящихся на стойловом содержании на животноводческой ферме. Робот с определенной периодичностью совершает движение по программе и с помощью активного шнекоротора перемещает кормовую массу ближе к животным. После окончания рабочего цикла пододвигания платформа автоматически встает на зарядную станцию. Ориентация робота в пространстве осуществляется с помощью ультразвуковых датчиков и электронного гироскопа.

Путем наблюдения за рабочим процессом предприятий было выявлено, что большинство животноводческих комплексов сталкивается с нехваткой рабочих рук. Зоотехники должны своевременно обеспечивать животных новым свежим кормом, но их задача состоит также в том, чтобы этот корм был съеден в короткие сроки пока он имеет достаточную влажность и внешний вид. Но из-за однотипного тяжелого физического труда люди быстро устают и не могут обеспечить потребность животных. Поэтому, возрастают отходы несъеденного корма, а животные недополучают объемы корма и как следствие снижается эффективность фермерского хозяйства в целом.

Исходя из полученных данных, определим проблемы, которые решает разрабатываемый агрегат:

- Минимизация трудозатрат при многократном увеличении частоты пододвигания кормов. Один пододвигатель корма способен заменить труд не менее пяти человек;
- Качество выполняемых работ превосходит качество работы человека
- Применение шнекоротора позволит переворачивать корм при пододвигании и освежить запахи, что соответствующим образом будет побуждать животных к поеданию корма;
- Уменьшение доли отходов корма. Уменьшается общий объем потерь кормов, а также экономится время, требуемое для удаления остатков корма;
- Оптимальное соотношение производительности и днём, и ночью. Поскольку пододвигатель постоянно перемещает корма ближе к животному, то коровам не нужно выбирать время суток: у стола всегда будет требуемое количество корма;

4.2 Защита интеллектуальной собственности

Для защиты интеллектуальной собственности в соответствии с законом необходимо направить заявку в Федеральную службу по интеллектуальной собственности (Роспатент), дождаться получения патента, после чего алгоритм будет регулироваться сразу несколькими актами - частью четвертой Гражданского кодекса Российской Федерации, а также федеральными законами № 98-ФЗ от 29 июля 2004 года «О коммерческой тайне», № 149-ФЗ от 27 июля 2006 года «Об информации, информационных технологиях и о защите информации», № 135-ФЗ от 26 июля 2006 года «О защите конкуренции», а также Кодексом об административных правонарушениях РФ, Уголовным кодексом РФ и другими. Для работы робота будет подготовлено мобильное приложение, позволяющее планировать процесс работы и время простоя на зарядной станции. На разработанную программу будет подана заявка на свидетельство о регистрации программы.

4.3 Объем и емкость рынка

Объем мирового рынка сервисных роботов превышает 5,3 млрд долларов США. Эта консервативная оценка соответствует официальным данным Мировой федерации робототехники (IFR) за 2013 год. Согласно новому отчету исследовательской компании «Tractica» (См. Рис 49), разработанному в сотрудничестве с «Robot Report», в ближайшие годы поставки сельскохозяйственных роботов значительно возрастут. С 2016 года замечается положительная динамика увеличения единиц с 32 тыс. до 594 тыс. что может позволить с 2024 года, достигнуть \$74,1 млрд годового дохода.

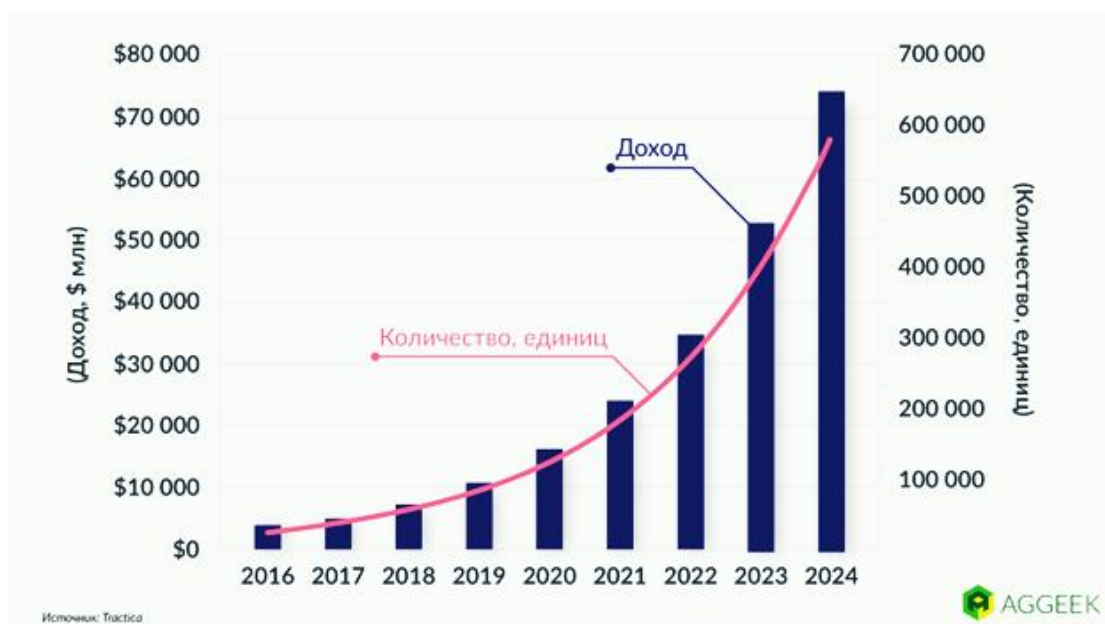


Рис.49 Прогноз мировых доходов и продаж сельскохозяйственных роботов

Растущий спрос на сельскохозяйственных роботов в настоящее время определяется целым рядом факторов, включая рост численности населения, повышение спроса на продукты питания, снижение доступности рабочей силы в сельском хозяйстве, повышение сельскохозяйственных затрат, изменение климата, а также широкая автоматизация промышленности в области сельского хозяйства

Основываясь на статистике «Росстата» в России зарегистрировано 23 тыс. хозяйств, занимающихся разведением КРС, допустим, что каждое из

предприятий приобретет 1 единицу техники, что позволит получить доход в размере: 5,75 млрд. руб.

4.4 Анализ современного состояния и перспектив отрасли

Всероссийская сельскохозяйственная перепись проводится раз в 10 лет, по данным 2016 года наблюдается уменьшение количества числа фермерских хозяйств на 46% - с 253,1 до 136,5 тысяч. Фактически фермерские хозяйства представляют собой такие же субъекты предпринимательства, что и другие частные предприятия, но в некоторых случаях государство предлагает особые условия. Такой лояльный подход призван стимулировать фермеров к развитию сельскохозяйственной отрасли и увеличению отечественного производства. Субсидирование от государства позволяет приобрести скот, сельскохозяйственную технику или специализированное оборудование.

Робот толкатель – подравниватель кормов необходим не каждому предприятию, но его приобретение позволит сократить расходы на производство. Сэкономленные средства фермер может вложить в погашение кредитов, либо в рекламу своей продукции, что поможет ему укрепиться на рынке.

По прогнозам компании Tractica, объем рынка агроботов достигнет \$74,1 млрд к 2024 году. Производство сельскохозяйственных роботов возрастет за это время почти в 19 раз до 594 тыс. единиц техники. В 2016 году этот показатель составлял 32 тыс. роботов.

4.5 Расчет себестоимости продукта

4.5.1 Трудоемкость работ

Подсчёт полных затрат на выполнение разработки и конструирования агрегата и написания программы начинается с составления полного плана работ, необходимых к исполнению на каждом этапе проектирования.

Для подсчёта расходов на этапе проектирования требуется определить

продолжительность каждой работы (от составления технического задания (ТЗ) и до оформления документации включительно). Продолжительность работ определяется либо по нормативам (с использованием специальных справочников), либо по фактически затраченному времени. Определяем продолжительность работ по фактически затраченному времени. Результаты сводим в таблицу 6.

Таблица 6 Фактическая продолжительность работ

	Наименование работ	Продолжительность, ч.
1	Разработка ТЗ	32
2	Анализ ТЗ	6
3	Составление плана работ	10
4	Поиск комплектующих	8
5	Разработка схемы подключения	80
6	Написание программной оболочки создания траектории движения и удаленного управления роботом	140
7	Монтаж оборудования	8
8	Написание программы приема команд, обработки и исполнения их механизмами	140
9	Отладка взаимодействия между системой генерации и системой выполнения команд	8
10	Оформление конструкторской документации	150
	ИТОГО	716

· · Затраты на опытно-конструкторские, графические работы и создание опытного образца определяются:

- по видам работ

- по затратам времени на проектирование (ч.) и часовым тарифным ставкам, соответствующим сложности выполняемой работы. Данные о них занесены в таблицу 4.

На основе данных о трудоемкости выполняемых работ (таблица 5) и ставки (за день или час) соответствующих исполнителей необходимо определить расходы на заработную плату исполнителей и отчислений на страховые взносы на обязательное социальное, пенсионное и медицинское страхование.

Расходы на основную заработную плату исполнителей определяются по формуле:

$$З_{осн.з/пл} = \sum_{i=1}^k T_i \cdot C_i$$

где $З_{осн.з/пл}$ - расходы на основную заработную плату исполнителей (рубли); k – количество исполнителей; T_i - время, затраченное i -м исполнителем на проведение исследования (дни или часы); C_i - ставка i -го исполнителя (рубли/день или рубли/час).

Расходы на дополнительную заработную плату исполнителей определяются по формуле:

$$З_{доп.з/пл} = З_{осн.з/пл} \cdot \frac{H_{доп.}}{100}$$

где $З_{доп.з/пл}$ - расходы на дополнительную заработную плату исполнителей (рубли); $З_{осн.з/пл}$ - расходы на основную заработную плату исполнителей (рубли); $H_{доп.}$ - норматив дополнительной заработной платы (%). При выполнении расчетов в ВКР данный норматив принимаем равным 14%.

Отчисления на страховые взносы на обязательное социальное, пенсионное и медицинское страхование с основной и дополнительной заработной платы исполнителей определяются по формуле:

$$З_{соц.} = (З_{осн.з/пл} + З_{доп.з/пл}) \cdot \frac{Н_{соц.}}{100}$$

где $З_{соц.}$ - отчисления на социальные нужды с заработной платы (рубли);
 $З_{осн.з/пл}$ - расходы на основную заработную плату исполнителей (по данным ЗП доцентов ТПУ); $З_{доп.з/пл}$ - расходы на дополнительную заработную плату исполнителей (рубли); $Н_{соц.}$ - норматив отчислений на страховые взносы на обязательное социальное, пенсионное и медицинское страхование (30%).
 Результаты расчетов сведены в таблице 7.

Таблица 7 Расходы на ЗП исполнителей

№	Наименование работ	Продолжительность, ч.	Ставка руб./час	Расходы На доп. ЗП, руб.	Страховые взносы, руб.	Сумма, руб.
1	Разработка ТЗ	32	600,00	84,00	180,00	27648,00
2	Анализ ТЗ	6	430,00	60,20	120,10	3661,80
3	Составление Плана работ	10	600,00 430,00	84,00 60,20	180,00 129	8640,00 6192,00
4	Поиск изготовителя оснастки	8	600,00	84,00	180,00	6912,00
5	Разработка схемы подключения	80	430,00	60,20	129	49536,00
6	Написание программной оболочки	140	600,00	84,00	180,00	120960,00
7	Монтаж оборудования	8	600,00 430,00	84,00 60,20	180,00 129	6912,00 4953,60

Продолжение таблицы 7

8	Написание программы приема команд, обработки и исполнения их механизмами	140	600,00	84,00	180,00	120960,00
9	Отладка	8	600,00 430,00	84,00 60,20	180,00 129	6912,00 4953,60
10	Оформление Конструкторской документации	150	430,00	60,20	129	92880
	Итого					461119

4.5.2 Сырьё, комплектующие

В данной работе не предполагается самостоятельное изготовление каких-либо изделий, поэтому расчёт затрат на сырьё не проводим. Однако, необходимо учесть расходы на комплектующие.

Затраты на покупные комплектующие вычисляются по формуле:

$$Z_n = \sum_{l=1}^L N \cdot C_l \cdot \left(1 + \frac{H_{m.з.}}{100}\right)$$

где Z_n – затраты на покупные комплектующие изделия (рубли); N_l – количество l -тых комплектующих изделий входящих в единицу продукции (шт.); C_l – цена приобретения единицы l -го комплектующего (рубли/шт.); $H_{m.з.}$ – норма транспортно-заготовительных расходов (10%). Результаты расчётов сводим в таблицу 8.

Таблица 8 Затраты на покупные комплектующие

№	Наименование	Норма шт.(метры)	Цена, руб./шт.	Сумма, руб.
1	Аккумулятор гелевый	2	9000	18000
2	Линейный привод колес	4	1600	6400
3	Колеса ведущие	4	400	1600
4	Линейный привод навески	2	1200	2400
5	Труба квадрат 25мм	12	700	700
6	Пульт	1	3000	3000
7	Набор электронных компонентов	1	5000	5000
8	Блок предохранителей	1	450	450
9	Система листовая 0.5мм	1,5	500	500
10	Покраска	1	3200	3200
11	Мотор-редуктор	5	7000	35000
12	Набор парктроники	8	300	2400
13	Розетка с преобразователем питания	1	366	366
14	Навеска	1	2500	2500
15	Набор беспроводных видео-передатчиков	1	500	500
16	Силовая электроника	4	2500	10000
17	Ремень	1	150	150
18	Метизы	-	500	500
19	Шнек	1	5000	5000
20	Подшипниковые узлы	2	500	1000
21	Рама	1	2500	2500
22	Шкив	2	300	600

Продолжение таблицы 8

23	Датчики металла	2	500	1000
24	Ультразвук с модулем для ардуино	1	300	300
25	Итого			103056

Также необходимо учесть услуги сторонних организаций, занимавшихся раскроем трубы, сваркой рамы, изготовлением и покраской кожухов: затраты, с учетом транспортных расходов и НДС, составили 30000 рублей.

Для определения величины амортизационных отчислений по основным средствам, использованным в процессе выполнения ВКР необходимо определить время, в течение которого использовалось это основное средство.

4.5.3 Амортизационные отчисления по основным средствам

Амортизационные отчисления по основному средству i за год определяются как:

$$A_i = C_{n.n.i} \cdot \frac{H_{ai}}{100}$$

где A_i – амортизационные отчисления за год по i -му основному средству (руб.); $C_{n.n.i}$ – первоначальная стоимость i -го основного средства (рубли); H_{ai} – годовая норма амортизации i -го основного средства (%).

Далее, определяем, какую часть от года составляет период, в течение которого использовалось основное средство.

Величина амортизационных отчислений по i -му основному средству, используемому при работе над ВКР, определяется по формуле:

$$A_{iBKP} = \frac{T_{iBKP}}{A_i \cdot 12}$$

где A_{iBKP} - амортизационные отчисления по i -му основному средству, используемому студентом в работе над ВКР (рубли); A_i – амортизационные отчисления за год по i -му основному средству (рубли); T_{iBKP} – время, в течение которого студент использует i -ое основное средство (месяцы).

Из основных средств, используемых при написании ВКР, учитываем ноутбук. Первоначальная его стоимость составляла 27000,00 рублей. следовательно годовые амортизационные отчисления за ноутбук составят:

$$A = 27000 * 0,33 = 8910 \text{ рублей.}$$

Величина амортизационных отчислений по основному средству, используемому при работе над ВКР:

$$A_{BKP} = 3100.20 * (3/12) = 4455 \text{ рублей.}$$

4.5.4 Накладные расходы

Таблица 9 Накладные расходы

№	Наименование	Расход, руб.
1	Канцелярские расходы	500
2	Расходные материалы при монтаже	600
3	Типографские расходы	416
4	Итого	1516

4.5.5 Итоговые затраты

Для подсчёта общих затрат на написание ВКР, полученные суммы сводим в таблицу 10. Примем во внимание то, что расчеты производились для создания 1-го работа.

Таблица 10 Затраты на проектирование и разработку агрегата

№	Наименование	Сумма, руб.
1	Расходы на оплату труда (включая социальные отчисления)	461119
2	Материалы	103056
3	Затраты по работам, выполняемым сторонними организациями	25000
4	Амортизационные отчисления	4455
5	Накладные расходы	1516
6	Итого	595156

Итак, в данном разделе были посчитаны все трудовые и экономические затраты на проектирование и конструирование робота - самоходная автоматизированная платформа. Общая сумма денежных затрат составила 595056 рублей.

Для запуска в производство, например, заказ на 7-ми роботов, сумма затрат уже будет другая. Ведь не нужно тратится на написания программы управления роботом, разработку схем подключения, разработку ТЗ. Общая сумма затрат на производство получилась следующая:

Таблица 11 Затраты на производство 7-ми агрегатов

№	Наименование	Сумма, руб.
1	Расходы на оплату труда (включая социальные отчисления)	166110
2	Материалы	721392
3	Затраты по работам, выполняемым сторонними организациями	175000
4	Амортизационные отчисления	31185

Продолжение таблицы 11

5	Накладные расходы	10612
6	Итого	1104299

Чтобы определить предварительную цену одного агрегата при запуске его производства и сравнить с зарубежными аналогами, используем затратный метод ценообразования, когда к полной себестоимости единицы продукции добавляется сумма прибыли, определенная по нормативу рентабельности.

$$C_{ed} = C_{ed} \cdot (1 + K_{np}) = 157757 \cdot (1 + 0,15) = 181420 \text{ руб.}$$

где $K_{np} = 15\%$ – коэффициент нормативной рентабельности.

Принимаем стоимость одной роботизированной платформы 250000 рублей. В то же время самый слабо технически оснащенный аналог предлагает компания OptiDuo по цене более 1млн.100тыс. рублей.

Как видим, цена разработанного отечественного агрегата оправдывает себя, что в свою очередь, при запуске массового производства сыграет решающую роль для потребителя.

4.5.6 Вычисление точки безубыточности

Рассчитываем минимальную величину дохода, при которой полностью окупаются все издержки

$$BEP = \frac{FC}{P - VC} = \frac{595056}{250000 - 157757} = 6.45$$

где BEP – точка безубыточности, FC – величина постоянных издержек, VC – величина переменных издержек на единицу продукции, P – стоимость единицы продукции (реализация)

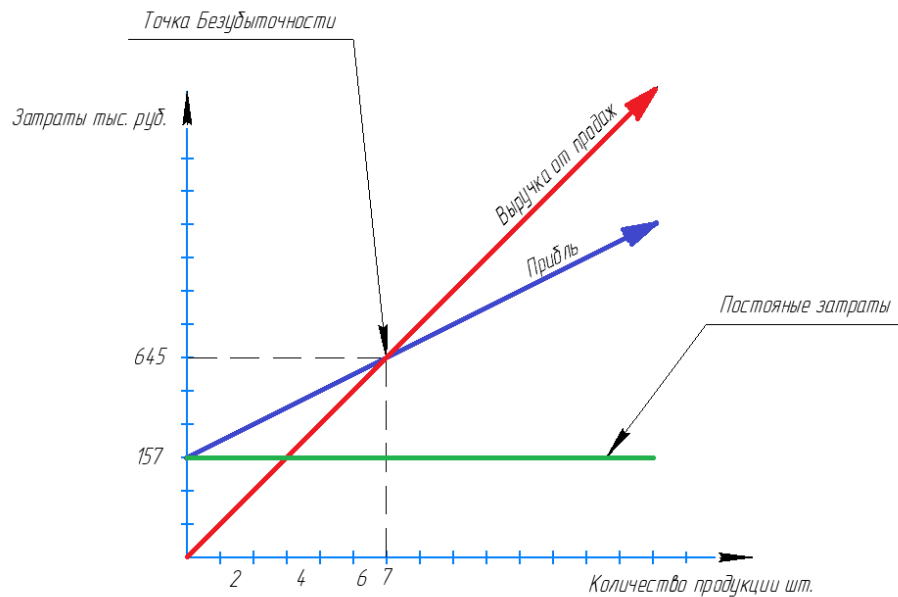


Рис. 50 Анализ расчета точки безубыточности

Получается, что мы придем к минимальной величине дохода при продаже 7 шт. агрегатов, по цене 250 тыс. руб. за единицу продукции.

4.5.7 Срок окупаемости

Рассчитаем период времени необходимый для того, чтобы доходы покрыли затраты на инвестиции

$$CO = \frac{I}{ЧП} = \frac{600000}{92243} = 6,5 \text{ мес}$$

где CO – простой срок окупаемости проекта, месяц; И – инвестиции в проект, руб.; ЧП – чистая прибыль проекта, руб.

Окупаемость проекта будет через 7 месяцев, при условии изготовления одного агрегата в месяц.

4.6 Конкурентные преимущества продукта и обзор технико-экономических характеристик аналогов

В рамках нашей разработки к такому оборудованию относится робот-толкатель. Благодаря своим возможностям он способен составить конкуренцию уже имеющимся его аналогам и большим устаревшим тракторам. Так же при помощи встроенных навигационных систем он способен самостоятельно составить план участка, наметить маршрут и выбрать режим обработки участка.

Автономность самоходного робота-толкателя позволяет минимизировать участие человека в его работе. Владельцу такого устройства необходимо только проводить техническое обслуживание: внешний осмотр, подкачка колес, смазка трущихся деталей, обслуживание аккумуляторной батареи.

Как и любой робот, робот толкатель требует первоначальной настройки для качественного выполнения работ на заданном участке. При необходимости владелец в любой момент может внести свои коррективы в маршрут и время работы прописанных изначально. Сделать это можно при помощи пульта управления или путем использования открытых стандартов передачи данных (Bluetooth), а также через приложение для управления техникой со смартфона.

Примеры аналогов:

- Подталкиватель кормов ПК–1 «Слободской Машиностроительный Завод» (Россия) ;
- Автоматический подравнитель кормов JUNO «LELY» (Нидерланды);
- Кормовой толкатель YOMO (Китай);
- Кормовой толкатель BUTLER XL (Италия);
- Робот - подталкиватель кормов COW-BOY (Франция);
- Робот-пушер OptiDuo «DeLaval» (Швеция).

Сравним технические характеристики разработанной платформы с наиболее современной и оснащенной в техническом плане BoniRob. Данные сравнения представлены в таблице 13.

Таблица 13 Сравнение с аналогом от DeLaval

Параметры	Единица измерения	OptiDuo	Платформа
Вес	Кг	120	150
Максимальная скорость	Км	5	8
Емкость батареи	кВт/ч	180	200
Цена	Руб.	Более 1100000	685000

Как можно увидеть, сконструированный агрегат имеет свои плюсы в сравнении с самым дорогим аналогом OptiDuo:

- универсальная навесная система;
- меньшая цена (685000 руб. вместо 1100000 руб.);
- большее время работы на одном заряде аккумулятора.

Рассмотрев разные варианты аналогов, можно заключить, что преимуществом разрабатываемого агрегата является более низкая цена.

4.7 Описание целевых сегментов потребителей

Принимая во внимание как проблему, решаемую продуктом, так и его стоимость, и предназначение, можно сделать вывод, что основным целевым сегментом является средние и крупные фермерские хозяйства, а также предприятия развивающиеся и стремящаяся стать крупным бизнесом. Работает

на рынке в актуальной и для страны отрасли, что позволяет получать прибыль. Данная прибыль позволяет бизнесу вкладываться в инновационные проекты, обновлять оборудование, монтировать новейшие системы, как производственные, так и вспомогательные, вкладываться в развитие инфраструктуры предприятия.

4.8 Бизнес-модель проекта и стратегия продвижения

Планируется использовать модель ведения проекта в формате B2C (Бизнес для клиента) Планируется организовать совместное производство с ООО "Юргинская промвентиляция" и ООО «Юрга. Технологии. Инновации» г. Юрга. Основную деятельность по организации продаж будет вести ООО «Юрга.Технологии. Инновации», также в круг задач будет входить постпродажное обслуживание и разработка всей документации.

ООО «Юргинская промвентиляция» работает на рынке с 2009 года. Функционал этой фирмы входят различные виды деятельности в том числе изготовления различных машин и оборудования по чертежам заказчика. Фирма имеет собственную площадку и достаточное количество оборудования для механической обработки, сварочных и окрасочных работ. Комплект конструкторской документации будет передан в полном объёме для изготовления роботизированной платформы.

ООО «Юрга. Технологии. Инновации» так же находится на территории города Юрги и осуществляет выполнение наукоемких проектов в области робототехники. Фирма имеет высококвалифицированную команду, а руководитель нашего проекта является сотрудником этой организации. Директор фирмы Михаил Момот автор книги лидера продаж Ozone «Мобильные роботы на базе Arduino» Издательство BHV. Имеется большой опыт реализованных завершённых проектов для промышленной автоматизации. Вся конструкторская и технологическая документация, а также программное обеспечение создавалась во время прохождения стажировки и, в рамках развития

проекта, осуществлялось создание платформы при непосредственном участии этой фирмы. Для дальнейшего развития проекта необходимости создавать новое предприятия нет и настройка программного обеспечения, а также сервисное обслуживание будет производится данной фирмой.

До конца текущего года планируется доработать и испытать рабочий прототип робота. Испытание по уже имеющийся предварительной договоренности будет осуществляться на ООО «Сибирское молоко», д. Ягодное Томская обл. По результатам испытаний будет составлен протокол с этой фирмой для дальнейшего сотрудничества. В настоящее время на ООО «Сибирское молоко» требуется 10 единиц техники и при положительных результатах будет организован заказ на требуемое оборудование.

Продвижение предполагается организовать через интернет-сайт <https://www.zizibot.ru> и публикации в журналах. Достигнуто соглашение с Еленой Юдиной, главным редактором журнала «Agroreport» специализирующимся на статьях с описанием современной сельскохозяйственной техники известных Российских и Зарубежных брендов. Будет создано несколько аккаунтов в различных социальных сетях. Реклама будет формироваться для целевой аудитории.

Чтобы испытать агрегат, у нас есть стратегический партнер ООО «Сибирское молоко» базирующийся в д. Ягодное Томской области, на чьем предприятии будут проходить проверка робота-толкателя в рабочих условиях. На основании этого в сотрудничестве с ООО «ПРОМВЕНТИЛЯЦИЯ», мы будем изготавливать несколько партий изделий, чтобы окупить начальные затраты. При этом совершенствуем конструкцию, налаживаем технологию и описываем технологический процесс.

В дальнейшем будущем мы либо перепродаём проект, либо пытаемся заработать на франшизе.

Имеется канал YouTube, на которых размещены видеоролики с информацией о продукте [1].

Таблица 14 Бизнес-модель по Остервальдеру

Ключевые Партнеры	Ключевые Виды деятельности	Ценностное предложение	Взаимоотношения с клиентами:	Потребительские сегменты
<p>ООО «ЮРГИНСКАЯ ПРОМВЕНТИ-ЛЯЦИЯ» Фирма имеет собственную площадку и достаточное количество оборудования для механической обработки, сварочных и окрасочных работ;</p> <p>ООО «Юрга. Технологии. Инновации» г. Юрга - Специализируется на разработке автоматических систем управления, конструкторов и моделей на базе микроконтроллеров</p>	<p>Изготовление, продажа и технический сервис роботизированных платформ с/х назначения</p>	<p>Большинство животноводческих комплексов сталкивается с нехваткой рабочих рук Люди быстро устают и плохо выполняют работу из-за однотипного тяжелого физического труда</p>	<p>Индивидуальная работа с клиентом; Поддержание коммуникации с клиентом в течении гарантийной эксплуатации и сервисного обслуживания.</p>	<p>Средние и крупные фермерские хозяйства в Сибирском Федеральном округе специализирующиеся на выращивании КРС, также КФХ развивающиеся и стремящиеся стать крупным бизнесом Общее число которых составляет около 4 тыс.</p>
<p>Ключевые ресурсы: Электронные компоненты; Команда; Оборудование для изготовления и покраски на ООО «ЮРГИНСКАЯ ПРОМВЕНТИ-ЛЯЦИЯ»</p>			<p>Каналы коммуникации и сбыта Прямые продажи «Социальные сети»; Сайт; Участие в ярмарках и выставках</p>	
<p>Структура издержек Реклама, налоги, заработная плата, соц. отчисления, электронные компоненты, металлопрокат и выплаты партнёрским организациям.</p>			<p>Потоки поступления доходов: Грантовая поддержка по программе «Умник» Фонд развития ООО «ЮТИ» Инвестиции спонсоров Предоплата по договору заказчика</p>	

5 Социальная ответственность

Целью данного раздела является показать безопасность и экологичность выпускной квалификационной работы, основная тема которой: разработка конструкции и системы управления самоходной автоматической платформы.

Так как изделие находится на этапе проектирования, то выявить проявления вредных и опасных факторов не представляется возможным. Но можно сформулировать требования безопасности.

5.1 Анализ вредных факторов при эксплуатации агрегата

Самоходная автоматическая платформа должна обеспечивать все необходимые требования безопасности при эксплуатации.

5.1.1 Безопасность механического оборудования

Агрегат должно обеспечивать требования безопасности при эксплуатации и ремонте, монтажных работах, транспортировании и хранении. Данный вид безопасности соответствии с требованиями ГОСТ 12.0.001, ГОСТ12.2.003, ГОСТ12.2.026 и ГОСТ12.0.003 обеспечивается:

- выбором принципов действия, конструктивных схем, безопасных элементов конструкции и т. п.;
- компоновкой конструкции из безопасных материалов и веществ;
- применением в конструкции средств автоматизации, механизации и дистанционного управления;
- выбором безопасных органов управления;
- применением в конструкции средств защиты;
- соблюдением требований безопасности при эксплуатации и ремонте, монтажных работах, транспортировании и хранении.
- профессиональным отбором и обучением работников;

- выбором конструкции оборудования и электрооборудования с учетом пожарной безопасности;
- включением требований безопасности в техническую документацию по монтажу, эксплуатации, ремонту, транспортированию и хранению;
- контролем за соблюдением требований безопасности, правил эксплуатации и трудового законодательства по охране труда рабочими.

В данном проекте разработаны меры по обеспечению безопасной эксплуатации робота толкателя в течение всего срока службы. Оборудование самоходной автоматической платформы.

При эксплуатации и в условиях, установленных эксплуатационной и ремонтной документацией по ГОСТ 2.601 и ГОСТ 2.602, не должно создавать опасности в чрезвычайных ситуациях в результате воздействия негативных факторов, которые имеют место при чрезвычайных ситуациях. Такими факторами являются: влажность, высокая температуры, солнечной радиация, механические колебания, высокие и низкие давления, агрессивные вещества, ветровые нагрузки и т.п.

5.1.2 Безопасность элементов

Элементами конструкции агрегата являются электроприводы, которые соответствуют требованиям безопасности ГОСТ 12.1.019-79:

- электропривод обеспечивает безопасность рабочих при вводе в эксплуатацию и, непосредственно, эксплуатации, как в случае автономного использования, так и в составе технологических комплексов при соблюдении требований, предусмотренных эксплуатационной документацией;
- материалы электропривода не окажут опасное и вредное воздействие на организм человека на всех заданных режимах работы и предусмотренных условиях эксплуатации, а также не создадут пожаро-взрывоопасных ситуаций, т.к. выбраны материалы с классом опасности 4 и не пожаровзрывоопасны;

– для устранения опасности поражения электрическим током в случае прикосновения к корпусу и к другим не токоведущим частям электроустановки, оказавшимся под напряжением, применяется защитное зануление. Доступные металлические части оборудования, которые могут оказаться под напряжением при повреждении изоляции, должны быть надежно электрически соединены короткими проводниками с заземляющим проводом;

– конструкция электропривода и его отдельных частей исключает возможность их падения, опрокидывания и самопроизвольного смещения при всех предусмотренных условиях эксплуатации и монтажа (демонтажа), т.к. спроектированные сочленяемые узлы и детали предполагается выполнить с достаточным запасом прочности;

– элементы конструкции электропривода не имеют острых углов, кромок, заусенцев и поверхностей с неровностями, представляющих опасность травмирования работающих;

– конструкция электропривода исключает самопроизвольное ослабление или разъединение креплений сборочных единиц и деталей, за счёт надёжного крепления;

– проведение измерения физических величин при помощи ручных измерительных инструментов разрешается только при обеспечении мер, исключающих возможность контакта, работающего с токоведущими частями.

5.2 Анализ опасных факторов проектируемого изделия

Безопасность работа обеспечивается использованием в конструкции безопасных материалов и веществ. Согласно требованиям, ГОСТ 12.3.002-75:

– материалы конструкции МК не оказывают вредного действия на работающих. При использовании материалов, которые могут оказывать вредное воздействие, предусмотрены соответствующие средства защиты работающих;

– использование новых веществ и материалов разрешено только после утверждения в установленном порядке соответствующих гигиенических нормативов.

Таблица 15. Материалы, входящие в конструкцию оборудования.

Наименование материалов	Класс опасности
Каркас установки из металла	5
Электрические силовые и контрольные кабели	10
Пластиковые части самоходной автоматизированной платформы	8

Все вещества и материалы прошли гигиеническую проверку и поверку на пожароопасности. Материалы конструкции оборудования не оказывают опасного и вредного воздействия на организм человека на всех заданных режимах работы и предусмотренных условиях эксплуатации, а также не создают пожаро-взрывоопасные ситуации.

5.2.1 Механизация и автоматизация технологических операций

Для того, чтобы оператор не имел прямого контакта с роботом во время работы используется модуль для дистанционного управления. Это позволяет избежать травм, которые могут появиться при ручном управлении.

5.2.2 Безопасность органов управления

Включение будет осуществляться при помощи тумблера находящимся на боковой панели самоходной автоматизированной платформы.

Для обеспечения дополнительной безопасности на работе предусмотрена автоматическая остановка при разрыве сигнала управления, то есть при потере сигнала управления подача тока на токоведущие части будет приостановлена.

5.2.3 Безопасность средств защиты, входящих в конструкцию

Средства защиты обеспечивают безопасность при эксплуатации агрегата и сконструированы с учетом требований ГОСТ 12.2.003, ГОСТ 12.2.049, ГОСТ 12.2.061:

– средства защиты выполняют свое назначение непрерывно в процессе функционирования электропривода или при возникновении опасной ситуации;

– конструкция и расположение средств защиты не ограничивает технологические возможности оборудования, и обеспечивают удобство эксплуатации и технического обслуживания.

Таблица 16. Средства защиты, предусмотренные в мобильном комплексе.

Вил. тип средств	Назначение	Способ крепления	Материалы для изготовления
Кнопка отключения	Для отключения от источника питания в случае внештатной	Крепится к каркасу	Пластик
Программное Отключение работа	Для отключения работа при возникновении ЧС		

5.2.4 Безопасность при монтажных и ремонтных работах

Безопасность при монтажных и ремонтных работах обеспечивается средствами защиты, инструментами и приспособлениями, которые удовлетворяют требованиям соответствующих государственных стандартов.

Средства защиты, инструменты и приспособления подвергаются осмотру и испытаниям. К обслуживанию изделия допускаются лица, прошедшие специальный инструктаж и изучившие данное техническое описание и инструкцию по эксплуатации.

При монтаже и эксплуатации должны соблюдаться:

- правила устройства электроустановок;
- правила технической эксплуатации электроустановок потребителей;
- правила технической безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей.

5.2.5 Безопасность при транспортировке и хранении

Масса робота-толкателя вместе с аккумуляторами и установленном шнереоторе составляет примерно 150 кг, можно снять навесное оборудование и транспортировать все отдельно, тогда вес платформы будет составлять 120 кг. Поэтому нет необходимости в использовании грузоподъемных средств в процессе монтажа, транспортировки, хранения и ремонта на производственном оборудовании.

Конструкция агрегата обеспечивает возможность надёжного закрепления его составных частей на транспортном средстве или в упаковочной таре. Помещение для хранения должно быть сухим и не пыльным, в помещении не должно быть сильных электромагнитных установок.

5.2.6 Безопасность при размещении

Согласно требованиям, ГОСТ 12.3.002-75, ГОСТ 12.3.003-91, ГОСТ 12.3.061-81, СНиП 31-01-03:

- производственные площадки, на которых выполняются работы, соответствуют требованиям действующих норм и правил, утвержденных органами государственного надзора;
- организация рабочих мест оператора ПК отвечает требованиям безопасности с учетом эргономических требований, устанавливаемых в государственных стандартах на конкретные производственные процессы, производственное оборудование и рабочие места.

5.2.7 Требования безопасности к профессиональному отбору

К обслуживанию и пользованию МК допускаются лица:

- имеющие профессиональную подготовку в высших или среднетехнических заведениях;
- прошедшие инструктаж, обучение и проверку знаний по охране труда;
- не имеющие медицинских противопоказаний.

5.2.8 Пожарная безопасность

Пожарная безопасность оборудования должна быть обеспечена в соответствии с требованиями настоящих стандартов, ГОСТ 12.1.004, ГОСТ 12.1.018, ГОСТ 12.2.007.0, ПУЭ, ПТЭ, и ПТБ, СНиП 3.05.06, СНиП 3.05.07 [20].

С учётом этих показателей выбран тип исполнения, вид взрывозащиты электрооборудования и степень его защиты от пыли и влаги. Для обеспечения пожарной безопасности объекта, где предполагается использовать агрегат необходимо использовать мероприятия пожарной профилактики:

- организационные (инструктаж персонала и т.п.);

- режимные (курение в специальных местах);
- эксплуатационные (профилактические осмотры).

5.2.9 Охрана окружающей среды

В конструкции роботизированной самоходной платформы применены безопасные и экологичные в соответствии со стандартами ССБТ и охраны окружающей среды, сертифицированные материалы и вещества.

5.3 Экологическая безопасность исходных материалов

Одним из экологических показателей является экологическая безопасность исходных материалов и веществ, входящих в конструкцию оборудования. При изготовлении и эксплуатации агрегата выполнены все нормативные природоохранные требования.

Выводы: 1) в проекте разработан комплекс организационных, технических и других мероприятий, направленных на обеспечение безопасности труда; 2) внедрение разработанного и сконструированного робота и мероприятий с соблюдением требований ГОСТ, СНиП позволит считать данный проект относительно безопасным и экологичным.

5.4 Безопасность при чрезвычайных ситуациях

При возникновении ЧС необходимо:

- 1) Отключить электропитание установки;
- 2) Выполнить предписание должностных инструкций;
- 3) Покинуть участок выполнения работ и поступить в распоряжение начальника ГО и ЧС.

5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Контроль за выполнением требований безопасности при эксплуатации агрегата возлагается на должностные лица в соответствии с правовыми и

нормативными документами по созданию безопасности и нормальных условий труда.

Разработанный агрегат должен соответствовать основным требованиям безопасности машин и оборудования «Технического регламента Таможенного союза» (ТР ТС 010/2011), а также дополнительным требованиям безопасности для сельскохозяйственных и других самоходных мобильных машин настоящего регламента.

Заключение

В разработанном дипломном проекте в полном объеме выполнены запланированные мероприятия. Разработанная конструкция полностью соответствует рассматриваемой теме задания и представлена в пояснительной записке и графических документах в соответствии с требуемыми в настоящее время стандартами.

Описаны мероприятия по разработке конструкции и системы управления самоходной автоматизированной платформы.

Также представлена схематехника и описание всех электронных компонентов, их подключение. Рассмотрен алгоритм отработки движений самоходной автоматизированной платформы.

В части социальной ответственности ВКР были приведены требования безопасности при использовании агрегата. Робот-толкатель кормов все необходимые требования безопасности при эксплуатации.

В главе «Финансовый менеджмент» в форме стартапа было произведено экономическое обоснование проекта, посчитана его общая стоимость, а также себестоимость одного агрегата. Обоснован план продвижения продукта на рынке. Посчитан срок периода окупаемости, точка безубыточности, при реализации 7-ми роботов.

В итоге получили информацию о том, что предлагаемый робот-толкатель кормов экономически целесообразен.

Ввиду того, что в настоящее время на отечественном рынке присутствуют в основном зарубежные агрегаты, у которых слишком большая цена и трудность с обслуживанием.

Цена разработанной конструкции и системе управления выйти на отечественный рынок самоходных автоматизированных платформ и занять на нем лидирующие позиции.

Список использованных источников

1. Роботизированная платформа [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.youtube.com/watch?v=qH_dwdA1Nz8&t=116s
2. Пододвигатели кормов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.agriexpo.ru/proizvoditel-agri/pododvigatel-kormov-399.html>
3. RoboTrends - Роботы-пододвигатели кормов [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://robotrends.ru/pub/1834/roboty-pododvigateli-kormov---zachem-nuzhny-i-kakie-byvayut>
4. Каталог роботизированных кормоподталкивателей платформ [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/robohunter/blog/379641/>
5. Куликов П.А. Вкалывают роботы, а не человек // ПОТРЕБИТЕЛЬ. GARDENTOOLS 2017.- № 3.- С. 101-115.
6. Marvelmind Indoor Navigation System Operating manual [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://marvelmind.com/>
7. Momot M. V. , Proskokov A. V. , Nesteruk D. N. , Ganiev M. L. , Biktimirov A. S. Systems of Geo Positioning of the Mobile Robot // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2017 - Vol. 221 - №. 1, Article number 012022. - p. 1-7
8. Способы движения агрегатов [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.pharmspravka.ru/tehnologiya-proizvodstva-lrs/podgotovka-pochvyi/sposobyi-dvizheniya-agre.html>
9. Трилатерация и метод [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://geostart.ru/post/318>
10. Nourani-Vatani, N., Bosse, M., Roberts, J., and Dunbabin, M. (2006) “Practical Path Planning and Obstacle Avoidance for Autonomous Mowing”, In Proc. of the Australasian Conference of Robotics and Automation.

11. Esther M. Arkin, Sándor P. Fekete b, Joseph S.B. Mitchell Approximation algorithms for lawn mowing and milling.// Computational Geometry 17 (2000) 25–50.
12. Плата Arduino Mega 2560 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://arduinomaster.ru/platy-arduino/plata-arduino-mega-2560/>
13. Ардуино: акселерометр MPU6050 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://robotclass.ru/tutorials/arduino-accelerometer-mpu6050/>
14. Huter GLM-4.0 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://mcgrp.ru/manual/huter/glm-4-0>
15. Теоретическое обоснование параметров энергосберегающих машинно-тракторных агрегатов: учеб. пособие / А. П. Карабаницкий, О. А. Левшукова. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – С. 23-28.
16. Что необходимо знать о роботизированных самоходных автоматизированных роботах [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://robo-hunter.com/news/chto-neobhodimo-znat-o-robotizirovannih-gazonokosilkah>
17. Отчисления с заработной платы сотрудников [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://nam-pokursu.ru/otchislenija-s-zarplaty/>
18. Расчет затрат по статье «Покупные комплектующие изделия» [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://megalektsii.ru/s72184t3.html>
19. Расчет амортизационных отчислений [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://rushbiz.ru/upravlenie-biznesom/buxuchet/amortizaciya.html>
20. ППБ. Правила пожарной безопасности в РФ / М.: Министерство РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2003.